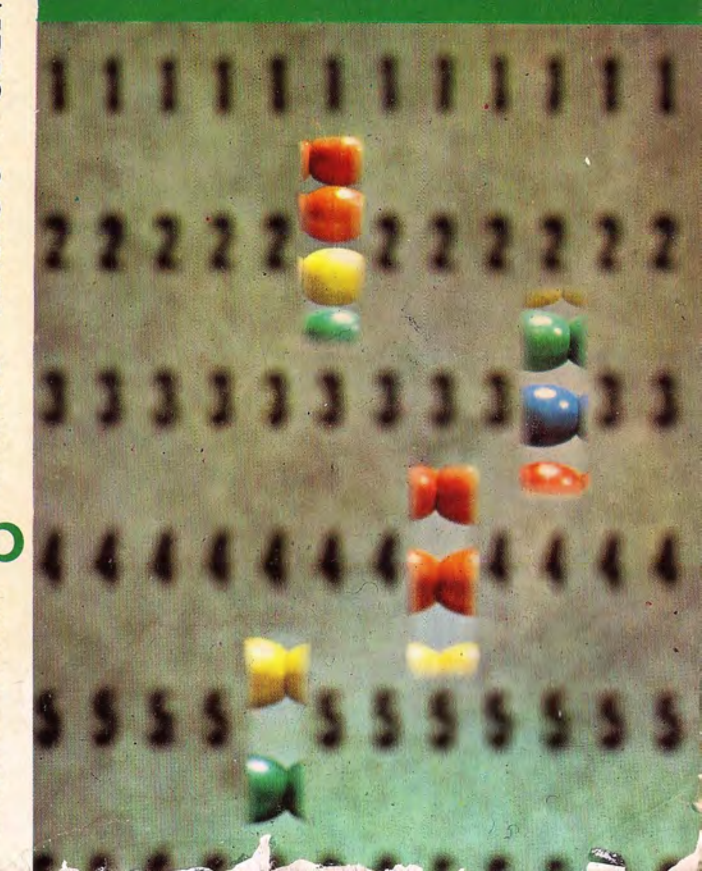
BRUGUERA eb LIBRO AMIGO * CIENCIA Y TECNICA

ROLF LOHBERG
THEO LUTZ

LOS CEREBROS ELECTRONICOS



LOS CEREBROS ELECTRONICOS

LOS CEREBROS ELECTRONICOS

Lohberg-Lutz

EDITORIAL BRUGUERA, S. A.
BARCELONA • BOGOTA • BUENOS AIRES • CARACAS • MEXICO

Título original: **WAS DENKT SICH EIN ELEKTRONENGEHIRN?**

Edición en lengua original:

La presente edición es propiedad de
EDITORIAL BRUGUERA, S. A.
Mora la Nueva, 2. Barcelona (España)

1.ª edición: abril, 1976

Impreso en España
Printed in Spain

ISBN 84-02-04722-X
Depósito legal: B. 13.188 - 1976

Impreso en los Talleres Gráficos de
EDITORIAL BRUGUERA, S. A.
Carretera Nacional 152, Km 21,650
Parets del Vallès - Barcelona - 1976

INTRODUCCION

No existen cerebros electrónicos.

Usted se dirá que esta afirmación es bastante paradójica en un libro que, al parecer, se ha propuesto informarle sobre ellos. Pero es cierto, no existen. Aunque a veces se les llama así, al hacerlo nos estamos refiriendo a las calculadoras electrónicas.

Desde luego, éstas son máquinas que realizan cosas prodigiosas, pero la realidad es que su único prodigio es la rapidez. No hacen milagros, sólo poseen capacidad de ejercitar lo ordenado, con un elevado rendimiento y precisión. El explicar por qué se les da el nombre de cerebros electrónicos queda fuera de nuestros propósitos. Por el momento, un simple colador tiene tanta inteligencia como ellos; y la inteligencia es lo menos que se puede pedir a un cerebro, ¿no es cierto?

En este libro hablaremos de las capacidades de la calculadora electrónica y de las exageradas estimaciones que se han hecho sobre ella. Somos un matemático con intereses periodísticos, y un periodista con intereses técnicos. No le pedimos que tenga conocimientos especializados. Sólo ha de saber cómo se suman dos números. Ya verá que la mayor parte de las calculadoras electrónicas no hacen más que eso, aunque con mucha mayor rapidez que usted.

Le aseguramos que una buena parte de esta obra es tan excitante como una novela policíaca. También hemos procurado que no resulte muy difícil leerla. Y, al igual que en una novela policíaca, encontrará al final

la solución a todos los enigmas que hayan aparecido en el primer capítulo. Naturalmente, por la lectura de este libro no sabrá usted si la historia de los cerebros electrónicos tendrá un desenlace feliz. Eso quizá lo sepamos dentro de diez o veinte años.

ROLF LOHBERG
(el periodista)

THEO LUTZ
(el matemático)

1

UN ANIMAL HECHO DE ALAMBRES Y CONMUTADORES

Sobre zorras, tortugas y otros animales electrónicos

Todos miraron fijamente al hombre de las gafas. Pero él no hizo nada sensacional. Se limitó a teclear en una máquina de escribir:

Cerva in silvam ambulat.

De dicha máquina surgió una cinta de papel agujereado, que empezó a pasar a través de una caja pintada de gris. Desde los armarios metálicos llegó el sonido de crujidos y murmullos. Y de pronto comenzó a funcionar una segunda máquina de escribir. Sus teclas se movían solas.

«*Cerva in silvam ambulat*», escribió, y añadió debajo: «La cierva pasea por el bosque.»

Los hombres se quedaron mirándola con esa clase de emoción infantil que embarga a todos los científicos (excepto a los psicólogos) cuando descubren un nuevo fruto en el árbol de la ciencia.

—¡La máquina puede traducir! —exclamó uno.

Y, en efecto, la máquina continuaba traduciendo textos latinos. *Avia cum puellis silvam intrat et puellis herbas monstrat:* «La abuela entra con las niñas en el bosque y muestra las hierbas a las niñas.» Da la impresión de que las frases proceden de un viejo libro de enseñanza. No es nada raro, porque aquella máquina había aprendido su latín de un libro de enseñanza.

—Sabe tanto como un estudiante que se ha estado desgastando los codos durante cuatro semanas —dijo el hombre de las gafas.

Aquel artilugio se encontraba en el Instituto Matemático de la Universidad de Saarbrücken, se llamaba «Z 22», y era una de esas fascinantes máquinas conocidas popularmente como *cerebros electrónicos*. El especialista, que se mantiene alejado del pueblo para seguir siendo una persona seria, las llama *calculadoras*



Figura 1

electrónicas de memoria programada. Y nosotros, los autores de este libro, nos encontramos en un aprieto. ¿Qué nombre debemos utilizar? Si durante las próximas páginas hablamos de «calculadoras electrónicas de..., etcétera», usted, querido lector, se preguntará con razón por qué todo el mundo habla de cerebros electrónicos... a excepción de nosotros. Pero si decimos cerebros electrónicos, todos los científicos se mofarán de los autores de este libro, indicándoles, además, que en la «Introducción» han dicho que no existen.

¿Qué hacer entonces? La solución es bien sencilla. Utilizaremos los dos conceptos indistintamente, y en ocasiones hasta emplearemos la palabra *computadora*.

Así podemos estar seguros de que seremos criticados por todos.

Pero volvamos ahora a la calculadora electrónica de memoria programada de Saarbrücken para decirle a usted que, no sólo sabe lo que ya se ha dicho sobre la cierva y la abuela, sino que también conoce algunos juegos, como por ejemplo el llamado *Nim*, muy parecido al jugado en la película *El año pasado en Mariembad*. Es muy fácil de aprender; puede usted jugarlo en casa, o mejor aún, en la oficina. Sólo se necesitan dos jugadores. El primero escribe, unos junto a otros, tres números a su elección, como por ejemplo 9-5-7. Alternativamente, cada jugador puede restar a una de las tres cifras cualquier número entre 1 y 9, ambos inclusive. Gana la partida quien consiga llegar a la combinación de números 0-0-1.

Hay muchas computadoras que conocen muy bien este juego. Ellas son las que eligen la primera secuencia de números. Después le toca a su compañero, un hombre, y así se continúa hasta el final. Las personas demasiado listas tratan de engañar a la calculadora electrónica, que no tarda en escribir una nota recriminatoria: «Por favor, juegue con honradez.» A menudo sucede que el aparato ya prevé, varias jugadas antes del final, el curso favorable de la partida, y entonces, sin que nadie le pregunte, vuelven a sonar las teclas y escribe: «¡Lo ve, esta vez gano yo!»

Una calculadora electrónica cuesta millones y sería injusto pensar que una universidad o una gran industria la adquieren con el simple propósito de jugar al Nim con los visitantes. Las calculadoras electrónicas sólo participan en estos juegos en ocasiones muy raras. Normalmente, su tarea consiste en solucionar problemas muy complicados y amplios para los científicos, economistas y técnicos. Deben valorar estadísticas y calcular datos técnicos. El latín y el Nim sólo son pasatiempos cuyo único objeto es causar el asombro de los visitantes, que acuden en grandes cantidades para dejarse impresionar.

Sabemos que hay cerebros electrónicos que conocen otros juegos; al menos tenemos noticias de dos de ellos. Por otro lado, también sabemos que hay *máquinas elec-*

trónicas de traducir cuyos conocimientos son mucho más amplios que los de la «Z 22» de Saarbrücken. Estas máquinas traducen del ruso al inglés, y como lo hacen a una velocidad media de 17 palabras por segundo, superan ampliamente a cualquier intérprete. Su vocabulario es de unas 50.000 palabras. Pero se calcula que dentro de algunos años podrán traducir 500.000 conceptos a una velocidad tres o cuatro veces superior a la actual. Más de treinta grupos de científicos trabajan en todo el mundo en los problemas que plantean las máquinas electrónicas de traducción.

Acabamos de decir que la calculadora electrónica trabaja con mayor rapidez que un intérprete, pero si se observa con atención la calidad de las frases traducidas, se comprobará que no lo hace mejor. Si sabe usted inglés, pronto se dará cuenta de lo que queremos decir. Una calculadora electrónica ha traducido partes del famoso discurso que pronunció Kruschev después de que fuera derribado el avión norteamericano de reconocimiento U-2, en mayo de 1960. Tres de las frases traducidas una vez vertidas al castellano, dicen así:

«Aquí está en fotografías famoso tanque almacenamiento bencina. Se debe decir, cámara no mala, fotografía muy clara. Pero debe decir que nuestra cámara hace fotografía mejor, más clara, así que hemos obtenido muy poco en este aspecto» (1) (*).

La estructura de las frases es lógica, y también se las puede comprender con facilidad. Pero hacen pensar que pasará algún tiempo antes de que Dostoyevski pueda ser traducido con el estilo de Shakespeare. Por el momento, esa tarea aún correrá a cargo de los filólogos.

Quisiéramos hablar un poco más sobre juegos electrónicos. Debe usted saber, querido lector, que las calculadoras electrónicas de todo el mundo tienen talento para ellos, al contrario de lo que le ocurre al hombre. También lo poseen las que hay en plantas industriales y refugios antiaéreos militares. Lo que pasa es que no se aprovecha esta capacidad. Los directores industriales

(*) Los números entre paréntesis en el texto, remiten a las notas que encontrará usted al final del libro. Estas notas suplementarias no son necesarias para la comprensión del tema, aunque los lectores especialmente interesados hallarán en ellas detalles informativos.

y los generales son demasiado serios para eso. Pero esto no nos impedirá que hablemos con cierta frecuencia de máquinas juguetonas. Los científicos suelen ser personas muy formales a las que no piensa uno encontrar jugando, pero como también son muy listos, han descubierto que ello les proporciona una evasión. Desde entonces, hasta los sabios más rígidos, austeros y barbudos pueden hacer lo que normalmente no se permite a las personas serias: jugar.

Y así, pueden enseñarle al «Z 22» de Saarbrücken cómo interpretar una partitura. Sí, señores, ésta es otra de las muchas habilidades de esta máquina polifacética: puede tocar al órgano fugas de Bach. Desde luego, no lo hace con la misma sensibilidad que una pianola, pero su técnica es brillante. Y eso a pesar de que la música no tiene nada que ver con su misión científica o económica. De hecho, el uso que se hace de ella en estos casos representa un abuso de los nobles propósitos de su constructor, Konrad Zuse, de Bad Hersfeld, quien dotó a la máquina de un altavoz para que se pudiera escuchar el ruido producido en su interior por los electrones. Las instrucciones falsas, que turban el orden interno de la máquina, se expresan en forma de tonos especiales, fáciles de escuchar. Por lo tanto, sólo se obtiene verdadera música haciendo que los electrones den grandes *saltos*, por medio de *órdenes* sin ningún sentido, pero perfectamente *elaboradas*.

Parece infantil decir que además de las grandes calculadoras electrónicas, los científicos también han creado pequeños y deliciosos animales como polillas, chinches y ratones. Estas criaturas no están hechas de piel y huesos, sino de hojalata y alambres. Por lo tanto, no se trata de verdaderos ratones, sino de imitaciones, así es que puede tranquilizarse, señora.

El padre de la ciencia de los cerebros electrónicos, el norteamericano Norbert Wiener, fallecido en 1964, fue quien inició el departamento zoológico electrónico. Construyó su primer animal artificial en la década de los años cuarenta. Era un híbrido, al que lo mismo se podía llamar chinche que polilla. Esta criatura tan curiosa no era más que una especie de pequeño vehículo electrónico, dotado de un motor y células fotosensibles.

En su papel de chinche, se dirigía con rapidez hacia cualquier fuente de luz. Por el contrario, si se accionaba el conmutador para que fuera polilla, se alejaba lo más posible de ella.

Una pequeña máquina capaz de realizar esta clase de juegos no es ningún milagro técnico. No podemos compararla en absoluto con un cerebro electrónico. Sin embargo, fue el primero de estos animales de imitación. Con él, Wiener dio los primeros pasos y señaló el camino: se pueden construir aparatos que reaccionen en una situación determinada como si fueran animales hambrientos de luz, o temerosos de ella. Partiendo de aquí, hay un camino muy largo, pero directo, hasta llegar a las grandes calculadoras electrónicas, que pueden reaccionar ante los estímulos como personas que piensan.

Otros científicos aprovecharon la idea de Wiener. El norteamericano Grey Walter construyó en 1951 un animal artificial, del que afirmó que se llamaba Cora y era una tortuga. Cora no sólo se arrastraba hacia una lámpara encendida, sino que en su camino evitaba con elegancia obstáculos tales como las piernas de una persona o las patas de una silla. El francés A. Ducrocq construyó en 1953 un animal muy curioso que reaccionaba ante la luz, las ondas sonoras y las impresiones táctiles; Ducrocq le llamó zorra.

El austríaco Heinz Zemanek, un hombre de notable personalidad, prefirió las tortugas. Construyó dos, que evidentemente estaban emparentadas con Cora, aunque eran mucho más inteligentes, ya que no sólo reaccionaban ante la luz. Se las dejaba avanzar hacia ésta un par de veces, silbando al mismo tiempo; después, se apagaba la luz, y los animalillos, acostumbrados ya al silbido, reaccionaban ante esta señal acústica, dirigiéndose hacia el lugar de donde procedía. ¡Estas tortugas artificiales podían aprender! Desde luego, los animales de Zemanek ya estaban dotados de cerebros electrónicos completos. De otro modo no podrían haber aprendido.

Además, el experimento puede ser repetido cuantas veces se quiera. Una simple presión sobre un conmutador y las tortugas lo olvidan todo. Entonces, se puede empezar de nuevo.

Los eminentes científicos de la Universidad de Viena, a la que perteneció Heinz Zemanek (que ahora obtiene sus ingresos de la industria), han inventado otro animal que puede aprender por experiencia: un ratón artificial. El animal es colocado ante la entrada de un laberinto. Con gran trabajo y titubeo, va descubriendo el camino correcto hacia la salida. Va de un lado a otro y al parecer tiene muchas dificultades para lograrlo. Pero luego recuerda con toda exactitud el camino seguido, y al segundo intento llega al final en un tiempo récord y sin equivocarse una sola vez.

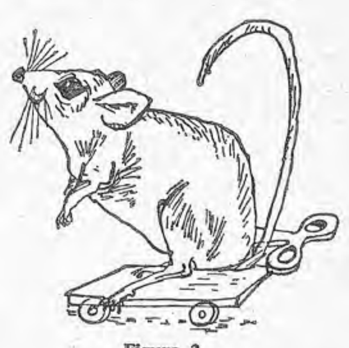


Figura 2

Como usted puede suponer, estos animales artificiales no han sido construidos por puro juego. Se espera que ellos encuentren los puentes que conducen del comportamiento humano y animal al campo de la calculadora electrónica. Ya en esta fase de los experimentos han proporcionado algunas ideas nuevas a los hombres que trabajan en los cerebros electrónicos, así como a los biólogos (hablaremos más de ello en el último capítulo).

Durante algún tiempo, los científicos se han divertido con un *juego electrónico de pelota.* En una pantalla de televisión se ve esta imagen: una caja a la que se arroja una pelota de ping-pong. Esta rebota de un lado a otro en el interior, choca varias veces con sus pare-

des y finalmente cae de la caja a través de un agujero que tiene en el fondo. Y, sin embargo, no hay ni caja ni pelota. Ambas son únicamente imágenes sobre la pantalla. Los movimientos de la pelota son calculados por una calculadora electrónica que tiene en cuenta el ángulo con que dicha pelota cae, la energía que pierde en cada rebote, la atracción que la Tierra ejerce sobre ella y algunas otras leyes físicas a las que se halla sometida. Con estos datos se calcula con tal rapidez su trayectoria, que el rayo que proyecta la imagen de la pelota sobre la pantalla no nos deja lugar a dudas sobre cuál será su próximo movimiento.

¿Cómo dicen los prestidigitadores...? ¡La mano es más rápida que la vista!

Esta velocidad es, sin duda alguna, la gran ventaja de la calculadora electrónica. Ya se habrá dado cuenta usted de que todas las demás posibilidades del cerebro electrónico son casi revolucionarias, ¡pero la velocidad...! Hay máquinas que sólo necesitan una diezmillonésima de segundo para efectuar una operación aritmética. ¿Puede usted imaginarlo? Nosotros, no.

Lo que sí podrá imaginar muy bien es por qué estas máquinas electrónicas aparecen cada vez con mayor frecuencia en industrias y oficinas donde se tienen que hacer muchos cálculos. Las fábricas les confían la dirección de su producción, los bancos las variaciones de sus cuentas corrientes, los comercios la vigilancia de sus compras y ventas, así como su almacenamiento y contabilidad. Si quiere usted saber más al respecto, debería leer la continuación de esta obra: *Calculadora electrónica en busca de posición responsable,* escrita por los mismos autores de este libro.

Después de la Revolución Industrial se está abriendo camino poco a poco una Revolución Electrónica. Piense que ya hay muchas empresas cuya contabilidad es llevada totalmente por una calculadora electrónica. Estas máquinas trabajan con mayor velocidad que un gran equipo de afanosos empleados. Y no sólo son más rápidas, sino que a la larga también resultan más baratas. Claro que su adquisición cuesta grandes sumas —muchos millones de pesetas las de mayor tamaño y cientos de miles las más pequeñas—, pero son más

rentables que dos docenas de empleados, que cobran su salario, exigen una gratificación navideña, y además cometen errores de vez en cuando. Porque otra de las grandes cualidades de una calculadora electrónica es que apenas los comete.

Los científicos son sus mayores entusiastas. Existe, por ejemplo, cierto tipo de experimentos químicos y técnicos que sólo tiene sentido realizar cuando se puede ejercer sobre ellos una continua labor de cálculo y vigilancia. Pero ¿cómo se puede lograr esto en las ocasiones en que un experimento dura una fracción de segundo? La calculadora electrónica ha solucionado el problema, porque su trabajo puede ajustarse al ritmo deseado.

En la actualidad se necesitan muchas tablas que antes no estaban a nuestra disposición, con valores de funciones matemáticas para los elementos estructurales de los instrumentos de radar, las características de temperatura de las moléculas, etc. Ningún hombre tuvo energía suficiente para realizar los muchos miles de operaciones mortalmente monótonas que se necesitan para confeccionar estas tablas. Hoy, la situación es diferente, gracias a las calculadoras electrónicas. El profesor expresa por la noche los correspondientes datos matemáticos, haciéndolo en un lenguaje simbólico adecuado, advierte al ingeniero de servicio que vigile al autómata, y se marcha a casa, a dormir tan tranquilo. A la mañana siguiente se encuentra en su despacho la tabla deseada, mecanografiada con toda limpieza; un total de tres mil cifras con valores de hasta siete decimales absolutamente correctos.

Citamos otro ejemplo de un trabajo del profesor de Karlsruhe, Karl Steinbuch, y no lo hacemos por ser el único que se nos ocurre en este momento, sino porque el profesor expresa su opinión con gran acierto. Se trata de efectuar una predicción exacta y científica del tiempo por medio de una calculadora electrónica. Steinbuch opina: «La autenticidad de una predicción meteorológica depende de cuantos valores iniciales se tienen en cuenta. Si estos valores tuvieran que ser obtenidos mediante calculadoras de oficina normales, se produciría antes el fenómeno meteorológico que la predicción.»

No es posible expresarse con mayor concisión.

Y ahora no podemos dejar de mencionar lo que anda en boca de todo el mundo: los supercohetes modernos. Si alcanzan sus objetivos, ya sean pacíficos o militares, es sólo gracias a que sus trayectorias se han calculado electrónicamente con anterioridad. Hoy sabemos que todo el progreso de la navegación espacial hubiera quedado en mera utopía, a pesar del perfeccionamiento de los cohetes y de las grandes disponibilidades de espacio, de no haberse descubierto a tiempo la computadora electrónica. No puede usted imaginarse lo complicado que es calcular segundo a segundo, el vuelo de un cohete. Se han de tener en cuenta cientos de factores, tales como la velocidad inicial y la fuerza propulsora de los motores, la atracción de la Tierra y la masa del cohete, la fricción y resistencia del aire, el ángulo de vuelo, etc. Y lo peor de todo es que muchos de estos valores cambian a cada momento. La atracción de la Tierra, por ejemplo, cambia con la distancia; el peso del cohete es menor a medida que se consume su combustible; la resistencia que opone el aire disminuye con la altura. Se tiene que pensar en todo, y todo ha de ser calculado con precisión. Y eso sólo se puede hacer electrónicamente.

Podríamos citarle más ejemplos para demostrarle qué clase de máquinas endiabladas son las calculadoras electrónicas, pero sería demasiado aburrido para nosotros, y probablemente también para usted. Por eso vamos a dedicar nuestra atención a un tema que no debe faltar en un libro como éste: la historia de los cerebros electrónicos.

Nadie puede decir cuándo apareció este concepto popular tan poco científico. La explicación quizá se encuentre en el hecho de que la computadora electrónica no fue inventada en un día determinado, como la lámpara incandescente, sino que se ha ido desarrollando durante decenios, como el buen coñac. Entonces, ¿en qué año podemos decir que nació? ¿En 1944? Fue entonces cuando inició sus trabajos en Estados Unidos la primera calculadora totalmente automática. Se llamaba «ASCC», Automatic Sequence Controlled Calculator, y su padre intelectual fue Howard H. Aiken, direc-

tor del Instituto de Estudios Matemáticos de la Universidad de Harvard. ¿O fue quizá en 1938, fecha en que se diseñaron sus planos? También podríamos decir que ocurrió en 1934, ya que fue en ese año cuando Konrad Zuse inició en Alemania sus experimentos sobre esta clase de ingenios. La técnica de las computadoras tiene mucho que agradecerle. La «Z 22» de Saarbrücken, de la que hemos hablado al principio de este capítulo, fue construida en su fábrica.

Sin embargo, el sueño de construir calculadoras automáticas es muy anterior a 1934, 1938 ó 1944. Como caso excepcional, no fueron los antiguos romanos, sino el teólogo y matemático suabo Wilhelm Schickard, quien construyó la primera en 1630, en Tubingia. Esta máquina podía sumar, restar, multiplicar y dividir. Quince años más tarde, el famoso filósofo y matemático francés Blaise Pascal construyó, independientemente de Schickard, un mecanismo similar (2).

Pero, por lo que se sabe, la idea de construir una gran computadora sólo se le ocurrió doscientos años más tarde al matemático inglés Charles Babbage. Contando con ayuda estatal, diseñó entre 1835 y 1860 una máquina de calcular mecánica tan genial que sus dibujos son considerados aún como modelos. Desgraciadamente, el diseño ofrecía un pequeño inconveniente: era tan complicado que ningún mecánico contemporáneo podía hacerlo realidad.

El desánimo a este respecto se mantuvo hasta 1930. Entonces, el plan de construir una supermáquina de calcular automática cobró nueva actualidad entre los científicos. El profesor inglés A. Turing hizo otro bosquejo. Tanto sus ideas, como los conocimientos adquiridos por el profesor Wiener y sus colegas en sus experimentos con los animales artificiales, forman la base de todos los modernos métodos de cálculo electrónico.

Pero aún tuvieron que transcurrir varios años, después de las reflexiones de Turing, antes de que la primera calculadora pudiera ponerse a trabajar —se trataba de la ya citada «ASCC»—. Posteriormente se le dio el orgulloso nombre de «Mark I». Y, en realidad, fue una «marca» en la conciencia pública (incomprensiblemente se desconoció la calculadora creada mucho

antes por Zuse, tan sensacional como la «Mark I»). Era la primera vez que se podía calcular sin necesidad de utilizar palancas, ruedas dentadas y otros medios mecánicos similares de transmisión de fuerza. Ahora era posible hacerlo con tubos, relés y otros contactos eléctricos, acerca de los cuales se poseía suficiente experiencia, gracias a la construcción de aparatos de radio, como para poder fabricar máquinas calculadoras del tamaño y rapidez que se desease.

Esto es lo que pensaron los técnicos.

Pero se llevaron una gran desilusión cuando descubrieron que las computadoras electrónicas tenían sus limitaciones, lo que se comprobó con toda claridad en el ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), construido en 1946 en la Universidad de Pennsylvania. El ENIAC contenía no menos de 18.000 tubos electrónicos —que de hecho eran tubos de vacío de radio—, y con ellos se podrían haber realizado cálculos muy amplios, si no hubieran estado continuamente estropeados. Todos los días se quemaban uno o dos tubos. Aun sin la ayuda de las computadoras automáticas se podía llegar a la conclusión de que, en el caso de construirse de mayor tamaño, los defectos aumentarían de tal modo que no se podría terminar un solo cálculo.

Pero éste sólo fue el primer problema. El segundo fue el recalentamiento que se producía. El ENIAC consumía mucha energía eléctrica, la mayor parte de la cual era transformada por los tubos en un calor muy poco deseable. Con sus 150.000 vatios, la máquina tenía el poder calorífico de cincuenta estufas eléctricas caseras, y este calor no sólo afectaba a técnicos y matemáticos, sino, con peores consecuencias, a los miles de *condensadores eléctricos;* como consecuencia, su material aislante se derretía gota a gota.

A pesar de todo se construyó gran número de calculadoras de tubos. No se conocía otro modo de fabricarlas, y todo parecía indicar que el cálculo electrónico, iniciado con tanto optimismo, se hallaba ya al límite de sus posibilidades; y ello debido únicamente a que los tubos se calentaban y se quemaban.

Entonces, muy afortunadamente, se inventaron los *transistores,* pequeños elementos de circuito, semicon-

ductores, compuestos principalmente por una pequeña pieza de cristal. Los transistores podían hacer todo lo que realizaban los tubos, pero apenas consumían corriente eléctrica y casi no originaban calor. Además, su vida era de cien a mil veces más larga que la de los tubos. Por añadidura, su tamaño apenas era mayor que el de la cabeza de una cerilla. Quizá recuerde usted aún aquellos antiguos radiorreceptores de baterías gigantescas, anteriores a la guerra. Si compara con ellos la pequeña radio de transistores de la actualidad, no mayor que un paquete de cigarrillos, se dará cuenta de lo mucho que se ha conseguido en este aspecto.

Su aparición permitió emprender una cierta estandarización de las computadoras. Hasta entonces, los tubos habían sido colocados en un chasis de metal estable, como en las radios ordinarias, siendo unidos por una maraña de cables que sólo entendían los constructores, y con dificultades. Los transistores fueron montados de un modo diferente desde el principio. Primero se les colocó sobre planchas de material aislante del tamaño de una postal y se les unió por medio de alambres muy finos o por conductos de metal vaporizado, llamados *circuitos impresos*. A cada plancha se unieron hilos de contacto, y se colocaron unas junto a otras, en posición vertical, en la pared trasera de la computadora. Allí estaban, como pequeños libros en una estantería que podían ser cambiados con facilidad.

Esta técnica se emplea aún en la actualidad, pero en realidad se considera superada. En las máquinas modernas, las combinaciones de transistores son sustituidas por elementos más pequeños llamados *micromódulos* o *monolitos*. Lo que antaño se hizo con el chasis de tubos de una gran radio, y posteriormente con una *unidad de contacto* del tamaño de una postal, se hará después —se hace ya— en las modernas calculadoras electrónicas (como, por ejemplo, en las computadoras de la serie IBM 360 de la International Business Machines), con pequeñas planchas aisladas del tamaño de una uña, sobre las que se han instalado los transistores, tan pequeños como una cabeza de alfiler: unidades conmuta-

doras completas de no más de un centímetro cuadrado, a las que se llama técnicamente *circuitos integrados.*

Y ahora vamos a preocuparnos por la forma como funcionan las calculadoras. Pero antes, dediquemos nuestra atención a la llamada *teoría de la información.* No es algo tan difícil como su nombre puede hacer suponer, y sí muy interesante. En su lugar, lector, no pasaría de largo el próximo capítulo.

2

¿TRANSMISION DE PENSAMIENTO?

Informaciones... contadas, medidas y enviadas por correo

Hay varias posibilidades de contemplar el mundo. El pesimista lo considera como un valle de lágrimas. Schopenhauer pensó que consistía en voluntad e idea. El físico atómico lo concibe como un edificio compuesto de núcleos atómicos y electrones. Los padres intelectuales de la calculadora electrónica lo concibieron como una gran instalación compuesta de informaciones.

A primera vista, parece esta última una concepción muy curiosa, pero si lo consideramos más de cerca veremos que no lo es, con la condición de darle al concepto *información* un contenido que vaya mucho más allá de lo que entiende por ello un lector normal de la prensa cotidiana.

Cuando la vecina habla con la mujer del panadero, ambas están intercambiando informaciones. Quien escuche las noticias de la radio está absorbiendo información. Los estudiantes que aprenden palabras latinas, acumulan información en su memoria, aunque sea con cierta dificultad. Quien reflexiona sobre algo, no hace más que comparar informaciones, acumuladas en alguna ocasión, y que ahora relaciona para llegar a otras nuevas. Las informaciones pueden ser para uno mismo o para ser transmitidas. Nosotros, por ejemplo, se las estamos ofreciendo a usted en este libro.

Hasta ahora, todo es muy comprensible. Pero los teóricos de la información van mucho más lejos. Ellos dicen: todo ser viviente lleva consigo una corriente continua de información. Quien observa algo, lo transmite del ojo al cerebro. La sensación de dolor que experimentamos a través de los nervios también es una información. El curso del metabolismo, o el control de los órganos por medio de las hormonas, no son más que intercambios de información dentro del cuerpo. Cuando la flor se abre a la salida del sol, lo hace porque el sol le da la información adecuada a través de sus rayos. Cuando un hombre tiene hambre, lo nota porque los jugos estomacales hacen llegar a su cerebro, a través de los nervios, la información de que están inactivos.

Los hombres han imaginado muchas formas de intercambiar informaciones entre sí. No podríamos haber progresado mucho si no hubiéramos podido mantener conversaciones o leer libros. Hemos convertido estas formas de transmisión de pensamiento en sistemas artificiales muy efectivos, y nos entendemos con tanta naturalidad con las informaciones como si fueran cosas tan materiales y corrientes como manzanas o patatas. Las acumulamos en bibliotecas, las contamos y las medimos en cada trabajo estadístico y las enviamos en cartas. Los periodistas y los agentes secretos viven de eso.

No nos avergonzamos en absoluto de transformarlas. Las traducimos a lenguas extranjeras, o las remitimos en forma de puntos y rayas, como en el caso del telegrama. Y cuando lo hacemos, estamos seguros de que la persona receptora las entenderá correctamente, a pesar de la transformación que han sufrido.

Por favor, no piense que todo esto es muy bonito y benéfico, pero que ha comprado este libro para leer algo sobre cerebros electrónicos. Pronto comprenderá por qué nos ocupamos tanto de la teoría de la información.

Durante muchos siglos, cuando se hablaba de máquinas, el hombre se refería exclusivamente a las de fuerza y nada más. Sólo se pensaba en aparatos que pudieran sustituir el trabajo muscular o la capacidad manual de un ser humano, como lo hacen, por ejemplo, las

locomotoras, que realizan el trabajo de las patas del caballo, o las grúas, que efectúan el de los brazos del hombre.

Pero un día se descubrieron máquinas cuya misión no era facilitar fuerza, sino informaciones: el telégrafo Morse, el teléfono, el gramófono, la radio. En el fondo, no eran más que instrumentos auxiliares que no sabían hacer nada con esas informaciones, a excepción de transmitirlas.

La calculadora electrónica fue el primer artificio mecánico que apareció junto al hombre, capaz de aceptar informaciones, elaborarlas y volverlas a entregar transformadas. Es, en relación con estas máquinas, donde mejor se puede utilizar la expresión «cerebro», porque se comete una injusticia al pensar que son únicamente instrumentos de cálculo. La caja registradora del comerciante también calcula. Pero las computadoras electrónicas pueden hacer mucho más que eso.

Cuando una persona realiza cálculos no está aplicando más que una forma especial del arte congénito de relacionar informaciones a su gusto. Las calculadoras electrónicas son como las personas en este aspecto. En el fondo, su trabajo consiste en relacionar los datos que ya posee con otros nuevos. Pueden ser números y entonces la máquina computa. Pero también puede tratarse de problemas científicos, o de palabras latinas y castellanas. Por eso, algunos científicos prefieren llamar a la calculadora electrónica *máquina de elaboración de datos*, o *máquina de elaboración de información.*

Los teóricos de la información afirman que ésta, sea de la clase que fuere, puede ser reducida a pequeñas *unidades de información.* Piense, por ejemplo, en el químico que, al menos teóricamente, puede descomponer toda materia en sus elementos, y éstos, a su vez, en átomos. El último eslabón es el átomo, porque en la práctica ya no se puede obtener nada más pequeño. Los teóricos de la información también han encontrado un átomo para su ciencia. Le llaman *bit* (más tarde sabremos por qué se ha escogido este nombre).

Científicamente, un bit es la unidad más pequeña de información. Imagínese que le presentan a una persona desconocida a la que hace la siguiente pregunta:

—¿Es usted comerciante?

La persona en cuestión puede darle varias respuestas, como por ejemplo:

—¡Quisiera serlo!

—¡Por el amor de Dios! ¿Por quién me ha tomado? —podría ser otra contestación.

En último término, siempre puede decir: «Sí» o «no».



Figura 3

Todas estas respuestas son informaciones y, en parte, de un contenido muy rico, porque, por ejemplo, en la frase «¡Quisiera serlo!» está implícita toda una historia personal. Pero las respuestas más precisas y breves son el «sí» y el «no». No se puede contestar con menos palabras si se quiere responder a la pregunta. Por eso, el «sí» o el «no» son en este caso las más pequeñas unidades de información, o sea bits.

Con un poco de esfuerzo y otro poco de afición por el juego, toda información se puede descomponer en bits. Esto es lo que se hace, por ejemplo, en un divertido juego televisado. Quizá lo haya visto usted. Se nos presenta a un hombre, cuya profesión es mantenida en secreto al principio, debiendo ser descubierta por los jugadores mediante preguntas a las que él sólo puede contestar diciendo «sí» o «no».

Supongamos que el hombre es un plomero. La primera pregunta podría ser:

—¿Realiza usted un trabajo manual?

—Sí —sería la contestación.

—¿Utiliza madera para ello?

—No.

Y así continuaría el interrogatorio. Si no se ha descubierto la profesión después de diez o doce preguntas, han perdido los que interrogan, pero si las cuestiones se plantean con un poco de inteligencia, se encuentra la solución a la octava o novena contestación. Por lo tanto, para hallarla sólo se necesitaron ocho o nueve respuestas afirmativas o negativas, o sea ocho o nueve bits.

En nuestro juego, y en la teoría de la información en general, diez bits son suficientes para proporcionar una selección de 1.024 posibilidades de información. Si se permite plantear veinte preguntas, es decir, si se utilizan veinte bits, se puede elegir entre 1.048.576 posibilidades. Los sesudos científicos han calculado que en la página de un libro aparecen diez mil bits por término medio, y que un libro grueso contiene diez millones. Cuanto más ininteligible sea un concepto, cuanto más se aparte de lo acostumbrado, o más difícil sea distinguirlo entre una gran cantidad de conceptos similares, tantos más bits se necesitarán para describirlo.

Juguemos ahora a otra cosa. ¿Qué le parecen las cartas? Supongamos que extraemos los cuatro reyes de un mazo de naipes de póquer: el rey rojo de corazones, el negro de tréboles, el rojo de diamantes, y el negro de picas. ¿Cuántos bits necesita para indicar una de estas cuatro cartas? Sólo dos.

Supongamos que hubiera pensado usted en el rey de tréboles. Nuestra primera pregunta sería:

—¿Es roja la carta?

—No —sería su contestación.

Esto significa que tiene que ser negra; por lo tanto nuestra pregunta siguiente sería:

—¿Es el rey de picas?

—No —volvería a ser su respuesta.

Entonces sabríamos que sólo podía ser el rey de

tréboles. Con dos respuestas, o dos bits, tuvimos suficiente.

No es más difícil, aunque sí un poco más complicado, indicar un naipe determinado, de un total de 32, por medio de bits. ¿Cómo lo haría?

Podría usted barajarlos y dividirlos en dos montones iguales, colocándolos sobre la mesa verticalmente a su posición, de la forma que indica la figura 4, de modo que uno de ellos quedase más alejado de usted que el otro. Y entonces se iniciaría el juego de preguntas y respuestas:

—¿Está la carta en el montón de la parte superior?

La contestación sólo puede ser afirmativa o negativa. ¡Un bit!

Entonces, coge el montón donde se halla la carta, lo vuelve a dividir y colocar de igual forma y vuelve a preguntar:

—¿Está arriba o abajo?

A la quinta pregunta sólo le quedarán dos cartas, y a la quinta respuesta se habrá descubierto ya la que se buscaba. Para descubrir una carta en un montón de 32, sólo habrán sido necesarios cinco bits (3).

¿Cree usted que esto es un juego de niños? ¡Por favor! Lo que le estamos mostrando aquí ya es casi ciencia. Permítanos seguir jugando. ¿Qué le parece si ahora dibujamos lo que hemos hecho? Podemos representar gráficamente el descubrimiento de una carta determinada entre un montón de 32: primero lo dibujamos completo, con sus 32 cartas; después dos montoncitos, con la mitad de cartas cada uno. Verá el resultado de nuestro ejercicio artístico en la figura 4.

Tiene un aspecto curioso, casi como la copa de un árbol cortado, al que muy bien podríamos llamar «el árbol del conocimiento».

Arbol del conocimiento, sí, así es como le llaman también los científicos. Y con ello acabamos de salir del juego para entrar de lleno en el campo de la ciencia, donde hay bosques enteros poblados de este tipo de árboles.

Y ahora veamos cómo podemos encontrar entre toda esta maraña la jota de diamantes. Si las cartas están colocadas en sus montones como las hojas de un árbol,

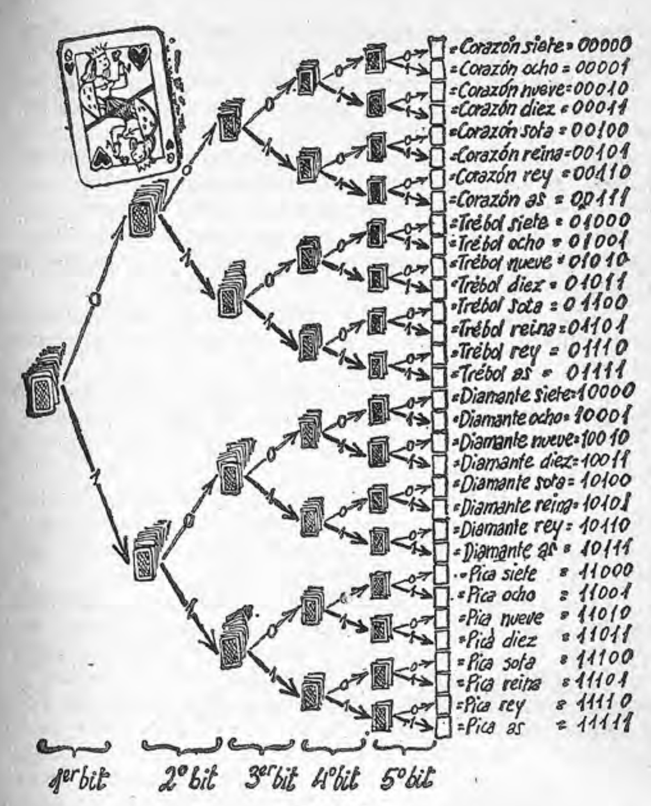


Figura 4

las contestaciones deberían ser: «Montón inferior; montón superior; montón inferior; montón superior; carta superior.»

Como usted verá por la figura, hemos dibujado cada una de las ramas del árbol, o sea los montoncitos, con un grosor diferente. Por eso, también podríamos encontrar la sota de diamantes diciendo: «Rama gruesa; rama delgada; rama gruesa; rama delgada; rama delgada.»

Pero esto suena a lenguaje de indios sioux. Por eso, lo vamos a abreviar y en lugar de decir «rama delgada» o «rama gruesa», diremos sólo «0» y «1». Expresado de este modo, el camino que tenemos que seguir para llegar a la sota de diamantes sería el «10100». Podríamos ir más lejos y decir: la sota de diamantes se llamará «10100». Al as de corazones le llamaríamos «00111»; al rey de picas «01110», y al as de tréboles «11111».

Si tiene usted un amigo que sea teórico de la información le puede preguntar qué opina de designar con el nombre «10100» a la sota de diamantes.

—¿Qué voy a opinar? —contestaría él, dando quizá un gruñido—. Lo único que has hecho es *codificar* las cartas por el sistema *binario.*

¿Lo ve? Ha tenido éxito al hacer algo científicamente aceptable. Pero ¿qué es exactamente lo que ha hecho?

El teórico de la información se lo podría explicar muy bien, diciéndole:

—Le has asignado un código, un sistema de símbolos, al montón de cartas. La palabra binario significa simplemente que ese código sólo está compuesto por dos de esos símbolos: el «0» y el «1».

De las preguntas «¿montón superior?» y «¿montón inferior?», y de las respuestas «sí» o «no», hemos llegado por vía directa al «0» y al «1». En realidad, éstos no son más que traducciones de aquéllas. Pero antes le dijimos que un «sí» o un «no» equivalían a un bit. Por lo tanto, cualquier «0» y cualquier «1» deben ser también un bit científicamente perfecto. La palabra código «10100», que aplicamos a la sota de diamantes, debe ser, en consecuencia, un grupo de cinco bits, y nada más que eso.

Y ahora podemos descubrirle un gran secreto... ¿De dónde procede la palabra bit? Se trata de una contracción convencional de las palabras inglesas *Binary Digit,* cuya traducción podría ser: «Paso al *sistema binario*». Para decirlo con mayor exactitud, un bit es un paso diferenciador que puede ser representado por un código cuyos únicos símbolos son el «0» y el «1».

También podemos decir que un bit significa en el sistema binario lo que una cifra en el sistema decimal.

Esta sí que ha sido una disgresión exhaustiva, ¿eh? Pero ahora ya conoce usted la relación que tiene todo esto con las computadoras, porque lo que acaba de leer es el fundamento de su vida electrónica. Y para emprender una aplicación práctica de lo que hemos aprendido teóricamente hasta ahora...

Pero no. Será mejor dejar eso para el capítulo siguiente.

3

TODA SU CONVERSACION ES: SI, SI... NO, NO

El conciso lenguaje de la calculadora electrónica

Para los seres humanos ya es bastante difícil entenderse entre sí. Pero el entendimiento se consigue con una dosis de buena voluntad. Hasta los turistas alemanes que viajan por Italia se pueden hacer entender diciendo *Spaghetti* o *Amore* en el momento oportuno.

Las verdaderas dificultades aparecen cuando los seres humanos tienen que comunicarse con las máquinas. En tal caso no se logra nada utilizando las palabras de un vocabulario normal, pues las máquinas no saben lo que significa *Spaghetti* o *Amore.* Lo único que nos puede ayudar es el empleo de lo que se llama *lenguaje mecánico,* absolutamente exacto y bien determinado, comprendido tanto por el hombre como por la máquina, y por medio del cual ésta puede dialogar con nosotros. Ahora bien, es evidente que un lenguaje mecánico debe estar compuesto de elementos muy sencillos.

El primero fue inventado en 1837 por el pintor norteamericano Samuel Finley Breese Morse. Su *alfabeto Morse,* en el que están representados por puntos y rayas todas las letras, números y signos ortográficos, es algo tan ideal como lenguaje mecánico, que puede ser transmitido por los aparatos más simples, sin la menor difi-

cultad. Para transmitir en Morse se puede utilizar incluso una linterna de bolsillo, o un silbato.

Morse creó su alfabeto con dos únicos elementos —puntos y rayas—, o sea que lo hizo *binario*, sin saberlo. Las señales Morse pueden ser traducidas sin grandes dificultades a una moderna escritura binaria codificada. La letra L, telegrafiada como «. — . .» también se podría escribir «0100». El número 7, telegrafiado «— — . . .» en el alfabeto Morse, se puede representar como «11000». Lo único que se debe hacer es sustituir cada raya por un «1», y cada punto por un «0».

Las calculadoras electrónicas se las entienden muy bien con un lenguaje mecánico compuesto de puntos y rayas o, para hablar según los conceptos modernos, de los signos «0» y «1». Estos dos símbolos pueden ser recibidos, procesados y transmitidos eléctricamente con toda facilidad. Sólo necesitamos decir: «1» significa «corriente» o «enchufado», y «0» «no corriente» o «desenchufado». Los *conmutadores eléctricos* pueden ser ajustados para que actúen según estas órdenes; de acuerdo con ellas, la corriente pasará o no por tubos, transistores e hilos eléctricos. Y eso significa siempre la utilización de un «1» o de un «0». No puede ser más sencillo.

Por ello, la mayor parte de las actuales calculadoras electrónicas trabajan de acuerdo con un sistema binario. Su lenguaje es sencillísimo: «Sí, sí... no, no.»

En consecuencia, el alfabeto Morse debería ser ideal para las calculadoras electrónicas. Sin embargo, tiene un inconveniente: los grupos de puntos y rayas tienen longitudes diferentes. «E» se telegrafía con «.», «M» con «— —» y «8» con «— — — . .». Pero las calculadoras prefieren que los grupos de signos tengan siempre la misma longitud, pues eso facilita su trabajo. Después de todo, esto no lo podía saber aún Sammy Morse.

Ahora ya no dependemos del alfabeto telegráfico. Con los elementos «0» y «1» se pueden formar tantos códigos que no será fácil confundirse. Uno de los más utilizados en los medios electrónicos es el lenguaje de signos em-

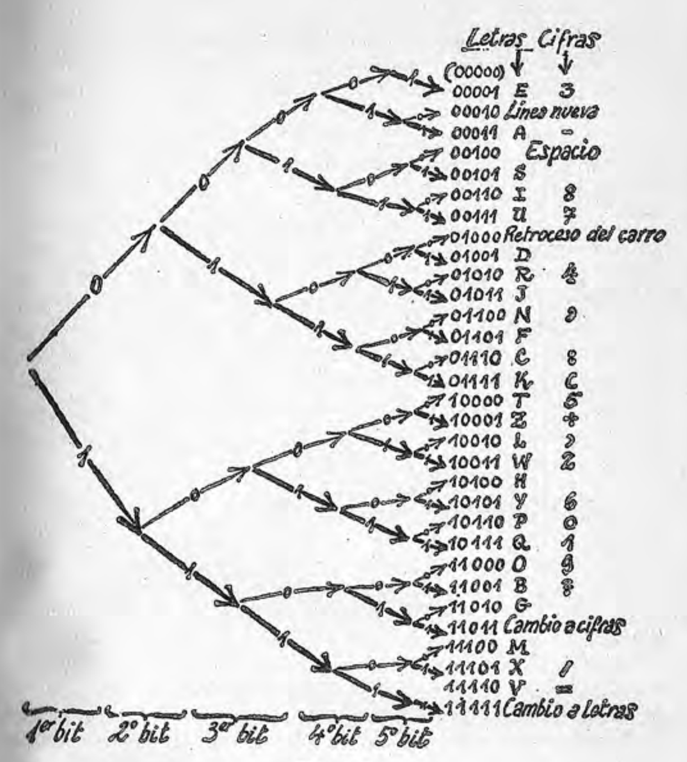


Figura 5

pleado en las *comunicaciones por teletipo.* Parece como si hubiera sido especialmente inventado para las computadoras, aunque no lo fue. Aquellas a las que se ha enseñado a utilizar el *código de teletipo,* pueden ser conectadas directamente a la red de éste. Así, el ingeniero que está en Hamburgo puede realizar sus cálculos en una instalación electrónica situada en Munich, a través del teletipo de su oficina.

Esta clase de código se construye exactamente igual que el «árbol del conocimiento», visto en el capítulo

anterior, en el caso de los naipes. Pero, aunque las 32 combinaciones son suficientes para representar con facilidad todas las letras del alfabeto, no lo son para los números y signos de puntuación. Por ello, al igual que se hace con las minúsculas y las mayúsculas en una máquina de escribir, se puede cambiar indistintamente a números y signos.

Tanto en el caso del código de teletipo, como en el de los naipes, cada signo, cada letra, está compuesto de cinco bits. Se podría hablar de un *código de cinco bits.* Pero los técnicos de informática no olvidan que estos cinco bits pueden ser transmitidos más tarde a través de cinco líneas eléctricas paralelas, y por eso prefieren llamarlo *código de cinco canales.*

Veamos ahora cómo se escribe mediante él una frase corta. ¿Qué le parece «María es buena»? Se escribiría así:

11111	cambio a letras	00101	S
11100	M	00100	espacio
00011	A	11001	B
01010	R	00111	U
00110	I	00001	E
00011	A	01100	N
00100	espacio	00011	A
00001	E		

Veamos otra frase, como, por ejemplo, «María tiene 2 peras». En el código de teletipo se escribiría así:

11111	cambio a letras	00001	E
11100	M	00100	espacio
00011	A	11011	cambio a números
01010	R	10011	2
00110	I	00100	espacio
00011	A	11111	cambio a letras
00100	espacio	10110	P
10000	T	00001	E
00110	I	01010	R
00001	E	00011	A
01100	N	00101	S

Parece un poco complicado. En idioma normal, este tipo de frases se mecanografían con mayor rapidez en la máquina de escribir, que utilizando el código de teletipo. Quien haya escuchado alguna vez el repiqueteo de un teletipo automático, estará de acuerdo con nosotros en que domina tan bien su código como una mecanógrafa las teclas.

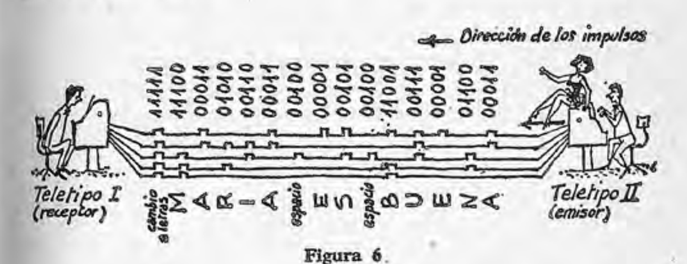


Figura 6

Pero quizá usted no haya visto aún un aparato de esta clase. Exteriormente, se parece a una gran máquina de escribir. Tiene un tablero de teclas, una palanca elevadora (aunque sin letras mayúsculas), y un rodillo para tensar el papel. Si se pulsan las teclas, aparecen letras escritas en aquél. Lo que no se ve es un haz de impulsos eléctricos, correspondiente a cada una de las letras pulsadas, que viaja hacia un segundo teletipo, instalado quizá a cientos de kilómetros de distancia, y pone en movimiento sus teclas, cada una de las cuales corresponde a la que se pulsó en el primero.

«¡Ratatatatatatat!» Suena el teletipo manejado por la secretaria del señor González de Barcelona: «Con referencia a...»

«¡Ratatatatatatat!» Lo hace décimas de segundo después, otro en la oficina del señor Jiménez de Madrid: «Con referencia a...»

Los impulsos eléctricos enviados de un teletipo a otro obedecen el código de cinco canales, y si el señor González quiere escribirle al señor Jiménez «María es buena», el resultado será igual al mostrado en la figura 6 (en el que cada una de las protuberancias representadas en el hilo es un impulso eléctrico).

Al igual que un teletipo envía impulsos a otro, también los puede enviar a una computadora electrónica. Lo que sucede es que a menudo no lo hace directamente, sino mediante la ayuda de una *cinta perforada.*

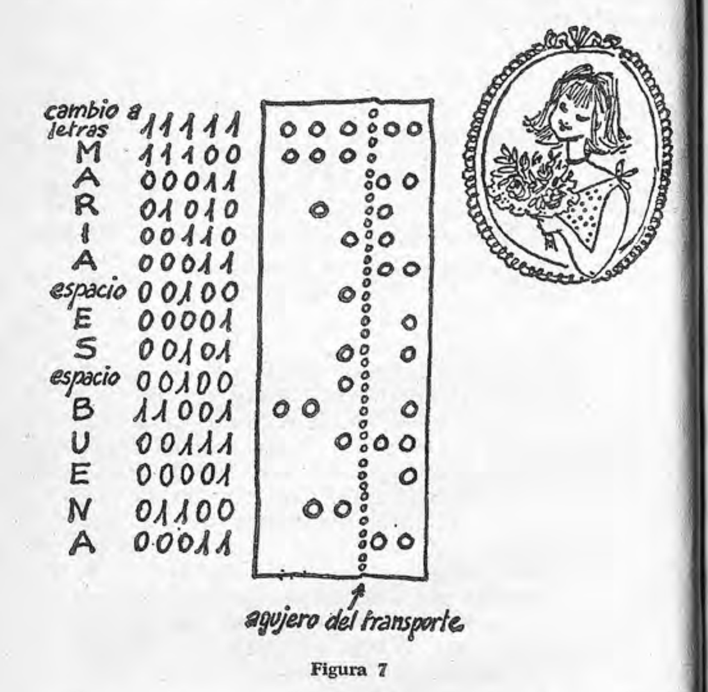


Figura 7

Muchos teletipos han sido construidos de modo que no sólo sean capaces de emitir dichos impulsos, sino también de taladrar agujeros en una cinta de papel. Por cada «1» hacen un agujero, y cuando se trata de un «0» el papel queda como estaba. En la figura núm. 7 reproducimos cómo quedaría la cinta si ésta fuera perforada con la frase «María es buena».

Naturalmente, además del teletipo que funciona

como un *perforador de cintas,* también se necesita un *elemento sensible a la cinta perforada,* capaz de reconvertir los agujeros de ésta en impulsos eléctricos, pues la calculadora electrónica no puede «digerirla» en aquellas condiciones. El elemento sensible más sencillo consta de cinco pares de contactos eléctricos, a través de los cuales pasa la cinta perforada. Allí donde hay un agujero se encuentran dos de los contactos y emiten un impulso eléctrico, mientras que donde no lo hay no ocurre nada.

Los más modernos elementos sensibles a la cinta perforada utilizan las llamadas *células fotoeléctricas,* que envían corriente en cuanto la luz cae sobre ellas. Cinco de estos ojos eléctricos observan continuamente la cinta perforada a medida que va pasando. Debajo de ella hay una lámpara encendida. Cada agujero de la cinta permite el pase de un rayo de luz, lo que hace emitir un impulso a la célula fotoeléctrica correspondiente.

Nos podríamos preguntar ahora qué necesidad había de imaginar un medio tan complicado y costoso como el de las cintas perforadas si, al fin y al cabo, el teletipo puede enviar directamente los impulsos eléctricos a la calculadora electrónica (y así se hace en algunas pequeñas). La contestación es sencilla: esta instalación, aparentemente tan cara, ahorra dinero. Una computadora electrónica puede absorber muchos miles de símbolos (números o letras) por segundo. Y, en cambio, la persona sentada ante el teletipo sólo puede teclear de cuatro a ocho símbolos en ese tiempo. Sería monstruoso, y sobre todo antieconómico, permitir que la calculadora, creada precisamente para aprovechar su rapidez, se acoplara a este lento ritmo de trabajo. La velocidad con que el elemento sensible reacciona a la cinta perforada se adapta mucho mejor a su temperamento. En efecto, la célula fotoeléctrica de un elemento sensible puede leer hasta 1.500 símbolos por segundo, transmitiendo a la calculadora los impulsos correspondientes. Las cintas perforadas se pueden mecanografiar con antelación y, una vez que la calculadora ha terminado otra tarea cualquiera, absorbe en pocos segundos muchos metros

de ella, y mientras procesa las informaciones que contienen, se pueden ir mecanografiando nuevas cintas.

La cuestión se complica un poco más cuando los impulsos taladrados en el papel son transmitidos primero a una *cinta magnética*, para pasar de ella a la computadora. Estas cintas son las mismas que se utilizan en los magnetófonos. La única diferencia es que las de éstos son algo más anchas. Al igual que sus diminutas partículas magnéticas son capaces de registrar las ondas sonoras, también pueden memorizar los bits, una vez convertidos en impulsos.

¿Y por qué pasar por este nuevo proceso de la cinta magnética? Por la misma razón que pasamos por el de la cinta perforada: por la velocidad. Las cintas magnéticas pueden enviar impulsos magnetizados con tal rapidez, que son capaces de proporcionar a la calculadora 150.000 símbolos por segundo. ¿Puede usted imaginar lo que representan 150.000 símbolos? El total de las letras contenidas en sesenta y cinco páginas de este libro. ¡Y en un segundo! ¡En el mismo tiempo que tardamos en decir dos y dos! Con estas velocidades nos enfrentamos a la mayor de las dificultades: la de detener o iniciar la marcha de la cinta magnética. Ambas acciones se tienen que realizar en milésimas de segundo, para evitar que, como consecuencia de una maniobra demasiado lenta, se pierda accidentalmente alguna información.

Pero las cintas perforadas y magnéticas no son los únicos medios de ponerse en contacto con una calculadora electrónica. Tampoco debemos olvidar a nuestra vieja conocida: la *tarjeta perforada*, inventada hace más de dos siglos para el control de los telares mecánicos. Hermann Hollerith, ingeniero y estadístico de Washington, la redescubrió hace ochenta años cuando tuvo que evaluar cincuenta millones de cuestionarios de un censo. Hizo perforar las contestaciones de cada uno de ellos en una tarjeta de cartón, utilizando un sencillo código. Después, y por medio de aparatos mecánicos y eléctricos, pudo clasificar las tarjetas según diversos puntos de vista, de tal modo que era capaz de seleccionar los nombres de todos los habitantes que tenían edades comprendidas entre los treinta y cuarenta años, o de todos

los panaderos, o de todos los carniceros, etc. Si así se deseaba, las máquinas de clasificación podían seleccionar también los nombres de todos los matarifes solteros de cuarenta y dos años de edad, que vivieran en el estado de Nevada.

En la actualidad, esta clase de tarjetas aún funciona según este principio. Muchas industrias archivan en tarjetas perforadas las direcciones, pedidos, envíos de material y cuentas. Las máquinas de Hollerith las almacenan y ordenan, las valoran y hacen cálculos. Cuando se trata de realizar tareas más complicadas, del tipo que a uno le gustaría confiar a una calculadora electrónica, se colocan pilas de tarjetas en un *lector de tarjetas perforadas*, que las va comprobando con la ayuda de rayos luminosos y células fotoeléctricas, traduciendo su escritura horadada al lenguaje de impulsos que ya hemos descrito anteriormente, y enviando dichos impulsos a la calculadora. Un aparato de este tipo puede leer hasta 120.000 tarjetas por hora.

Acabamos de decir que los impulsos de las tarjetas perforadas deben ser traducidos al lenguaje mecánico de la calculadora. En el cálculo electrónico se suele realizar este tipo de tareas de traducción. Hasta ahora nos hemos expresado como si no existiera más que el código de teletipo. Fue bastante práctico hacerlo así, en lo que a nosotros y a nuestra explicación se refiere, pero la realidad es muy distinta. Existen docenas de códigos utilizables, en cualquiera de los departamentos de cálculo eléctrico. Están compuestos de cuatro, cinco, siete, ocho, diez, quince, cuarenta canales. Hasta en el de cinco, al que pertenece el lenguaje del teletipo, encontramos variaciones, una de las cuales nos veremos obligados a explicar en el próximo capítulo. Cada empresa acostumbra utilizar su propio código (desarrollado a menudo en la entidad misma), tal y como pueden hacer los que hablan un dialecto. Afortunadamente, disponemos de *aparatos de traducción*, capaces de verter un código a otro, de la misma forma que un teletipo nuestras letras convencionales a su código. La utilización de dichos aparatos permite conectar las computadoras, que tienen el suyo propio, a una red de teletipos,

o bien hacerlas leer tarjetas perforadas, que también disponen de su código particular (4).

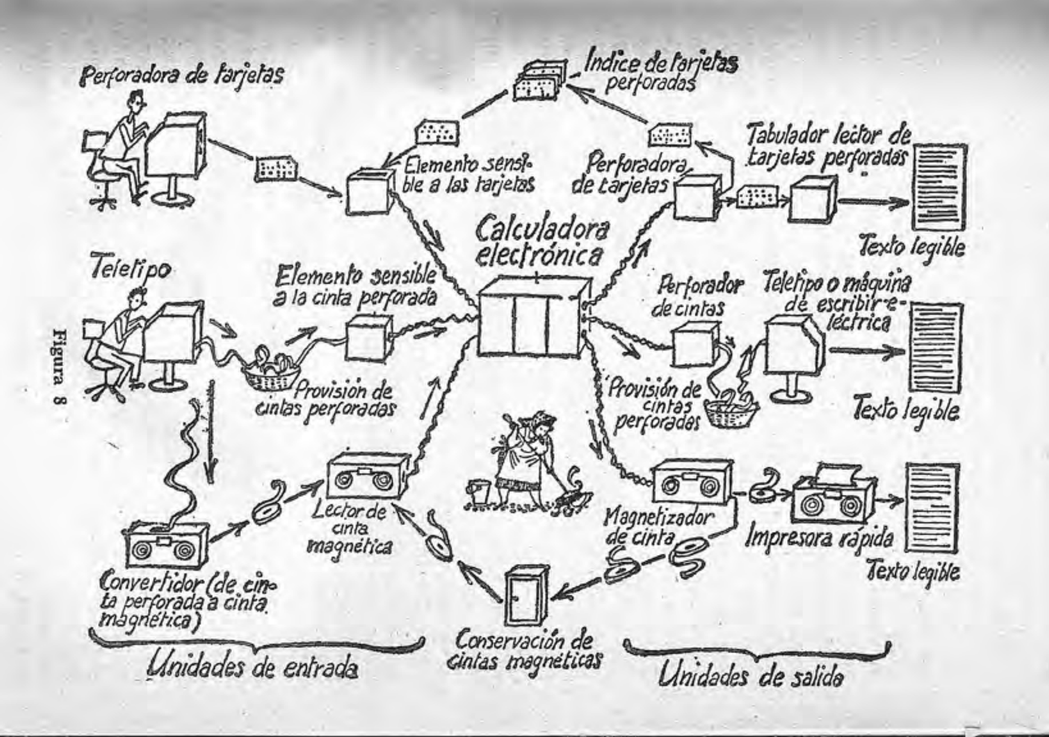
Afortunadamente, hemos redescubierto a tiempo las tarjetas perforadas. Debemos decir que recientemente han experimentado un desarrollo positivo, convirtiéndose en *tarjetas magnéticas*. En ellas, los símbolos ya no están representados por agujeros, sino por impulsos magnetizados, como en la cinta magnética.

Hasta ahora sólo hemos hablado de cómo se proporcionan informaciones a las calculadoras electrónicas. A los aparatos necesarios para realizar esta tarea se les llama *unidades de entrada*. En consecuencia, las máquinas empleadas por la calculadora para expresar sus resultados se llaman *unidades de salida*.

Una unidad de salida es, por ejemplo, la *perforadora de cintas*. Sus punzones taladradores son accionados por los impulsos eléctricos de la computadora con tal rapidez, que pueden perforar cincuenta símbolos o más por segundo sobre la cinta de papel. También hay *perforadoras de tarjetas*. Para transformar cada signo en una letra o en un número legible, las cintas deben ser descifradas por un teletipo, y las tarjetas perforadas por una *tabuladora*.

Sucede a menudo que no hay necesidad de leer inmediatamente los resultados obtenidos por la máquina. Como cuando se trata de resultados parciales, que deben ser posteriormente elaborados por la calculadora, o de estados de cuentas a los que no hay que prestar una atención continua, por ser suficiente con disponer de los resultados a finales de mes. En tales casos, los impulsos emitidos por las calculadoras son almacenados en largas cintas magnéticas. Partiendo de ellas, la computadora los puede volver a absorber en cualquier momento (5).

Pero si se quiere saber lo que hay en dichas cintas, se las hace pasar por un complicado aparato electrónico, que dirige los impulsos magnetizados hacia una *impresora rápida*, que es una máquina de escribir muy veloz, capaz de mecanografiar en un solo segundo, diez líneas, conteniendo de cien a doscientos caracteres cada una; lo que significa dos mil caracteres por segundo, ¡casi una página de este libro! Una buena mecanógrafa sólo



Perforadora de tarjetas
Indice de tarjetas perforadas
Elemento sensi-ble a las tarjetas
Perforadora de tarjetas
Tabulador lector de tarjetas perforadas
Texto legible
Calculadora electrónica
Teletipo
Elemento sensible a la cinta perforada
Provisión de cintas perforadas
Perforador de cintas
Teletipo o máquina de escribir e-léctrica
Provisión de cintas perforadas
Texto legible
Lector de cinta magnética
Magnetizador de cinta
Impresora rápida
Texto legible
Convertidor (de cinta perforada a cinta magnética)
Conservación de cintas magnéticas
Unidades de entrada
Unidades de salida

Figura 8

puede mecanografiar cinco caracteres en ese tiempo. La impresora rápida es cuatrocientas veces más veloz. La única desventaja es que no lleva minifalda.

Naturalmente, tal impresora es capaz de utilizar ciertas argucias imposibles de realizar por una mecanógrafa. Por ejemplo: cada uno de los cien o doscientos caracteres que hay en una línea tiene su propia letra de molde, instalada en un tambor que está dirigido por los impulsos de la cinta magnética. De este modo, el aparato mecanografía toda una línea de una sola vez. ¡Así, cualquiera! ¿Verdad, señorita?

En atención a ustedes, vamos a presentarles, aunque sólo sea brevemente, una serie de aparatos auxiliares, que en cierto modo son como las máquinas copiadoras de la industria electrónica. Estos aparatos se encargan de transmitir informaciones, sin alterar el código, de las cintas a las tarjetas perforadas, de las cintas magnéticas a las perforadas, y de las tarjetas perforadas a las cintas magnéticas. Se trata de aparatos medio mecánicos, medio electrónicos, que no tienen nada de extraordinario, ni trabajan a un ritmo notablemente rápido, y que cumplen su tarea con tanta pulcritud y pasando tan desapercibidos como las mujeres de limpieza de una fábrica. Si, por ejemplo, el jefe de expedición de una gran empresa llega a la calculadora con miles de tarjetas perforadas bajo el brazo, para obtener algún dato que necesita, puede ocurrir que el ingeniero las recoja todas y haga que uno de sus aparatos auxiliares copie en cinta magnética todos los datos que contienen. Esta operación puede durar una media hora. Después, el jefe de expedición recibe de nuevo sus tarjetas perforadas. El ingeniero dispone entonces de lo necesario para hacer sus cálculos, todo ello contenido en unos diez metros de cinta magnética, y puede trabajar más cómodamente con ellos que con los miles de tarjetas perforadas. Por otro lado, cuando se tenga que efectuar el proceso de evaluación de los datos acumulados en la cinta, el aparato de lectura sólo tardará diez segundos, mientras que si tuviera que hacer lo mismo con las tarjetas, directamente, tardaría unos cuatro minutos. Para nosotros no representa mucho tiempo, pero esos cuatro minutos serían media eternidad para

una calculadora, que mide el tiempo por millonésimas de segundo.

Y bien, hemos vuelto a hablar de la increíble rapidez de las computadoras. Pero quizá no sepa usted aún qué pensar sobre ello. «¿Cómo realizan sus cálculos?», se preguntará tal vez.

¡Paciencia! Hablaremos de ello en el próximo capítulo.

4

UNO POR UNO YA ES DEMASIADO DIFICIL

Hasta el restar tiene sus dificultades

Las capacidades fundamentales de un cerebro electrónico son más bien modestas en comparación con los conocimientos aritméticos que debe tener un estudiante de bachillerato. Eso por un lado.

Pero, por otro, estas máquinas pueden combinarlas con tal habilidad y multiplicarlas de tal forma, que ningún matemático podría mantener su ritmo de actividad.

Empecemos por lo más simple: la suma. Así, tendrá usted valor para seguir adelante y nosotros le habremos podido explicar lo más sencillo.

¿Cómo suma una calculadora electrónica?

Lo hace poniendo en funcionamiento circuitos eléctricos. Para explicárselo con claridad, debemos introducirnos un poco en el campo de la electricidad. Pero no se preocupe, nos podremos entender aunque no haya estudiado usted electricidad durante tres cursos consecutivos.

Toda computadora electrónica —o mejor dicho su *mecanismo calculador*— está compuesta de *circuitos básicos*, llamados también *puertas*. Existen *circuitos Y*, *circuitos O*, *miembros negadores*, y circuitos con el bonito nombre de *flip-flop* (conocidos también por los nombres: puertas Y, puertas O, inversores y básculas, respectivamente). No hay más que estos cuatro (6).

Un circuito Y... bueno, imagínese usted una lámpara de mesita de noche, una pequeña lámpara con un cable muy largo, en el que hay más de *un* interruptor. Como se ve en la figura número 9, la lámpara tiene *dos* interruptores, y solamente encendiendo los dos brillará la luz en ella. Esto es un circuito Y.

No parece ser algo muy práctico montar dos interruptores en el cable de la lámpara de una mesita de noche. Sin embargo, este tipo de instalaciones son muy corrientes en otros aparatos eléctricos. Por ejemplo, en algunas máquinas de manejo peligroso. Para ponerlas en funcionamiento se necesita apretar dos interruptores al mismo tiempo. Esto se hace como medida de seguridad.

Pero nosotros queremos hablar de calculadoras electrónicas, y más concretamente de los circuitos O. Tomemos de nuevo la lámpara de la mesita de noche. En esta ocasión la imaginamos con dos cables, en cada uno de los cuales hay un interruptor. Para encender la luz, se puede apretar cualquiera de ellos, o ambos a la vez.

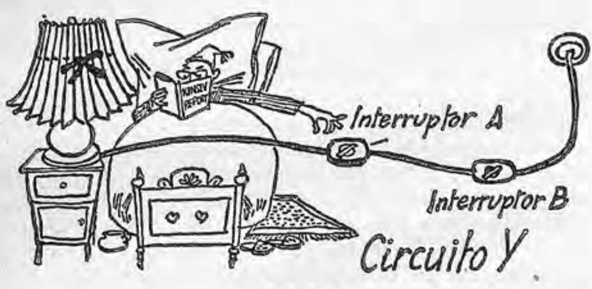


Figura 9

Los miembros negadores se encuentran con mucha frecuencia en los circuitos eléctricos, aunque, desgraciadamente, no aparecen en las familiares lámparas de las mesitas de noche. Por eso debemos hacer uso ahora de nuestra imaginación. Un miembro negador transforma en un elemento opuesto todo aquello que se le pro-

porciona. Si ha sido instalado en una línea eléctrica a través de la cual se hace pasar una corriente, el miembro negador interrumpirá dicha corriente. Por el contrario, si no se hace pasar ninguna corriente por el hilo, el negador la obtendrá de alguna otra fuente y la transmitirá. Los miembros negadores son necesarios en las calculadoras para invertir el significado de los impulsos, convirtiendo el «0» (no corriente) en «1» (corriente) y viceversa.

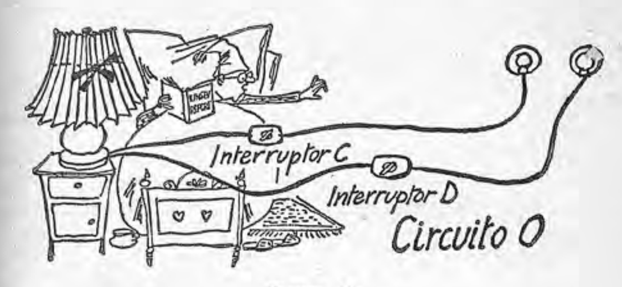


Figura 10

Sólo nos queda ahora explicar lo que es el *flip-flop*. Podemos encontrar algo similar en las escaleras de los edificios modernos. Se aprieta un botón, y se enciende la luz. Se aprieta de nuevo el botón y la luz se apaga. Pues bien, imaginemos una escalera en donde la luz se encienda de modo excluyente, bien en la planta baja, bien en el primer piso. Supongamos que en estos momentos está encendida en la planta baja. Usted aprieta el botón: la luz se apaga allí y se enciende en el primer piso. Vuelve usted a apretar, y la luz se apaga en el primer piso pero se enciende en la planta baja. Para entendernos mejor, a la primera presión que ejercemos sobre el botón le llamamos «flip» y a la segunda «flop».

En oposición al accionamiento de interruptores, tal y como lo hacemos en la lámpara de la mesita de noche o en la escalera de un edificio, en una calculadora electrónica no se enciende ni se apaga nada con la mano.

Aquí es la corriente eléctrica la que determina su propio encendido o apagado. En la técnica electrónica nos encontramos a menudo con este hecho. Esto se consigue con diversos medios, como, por ejemplo, con un relé, semejante al dibujado en la figura núm. 11.

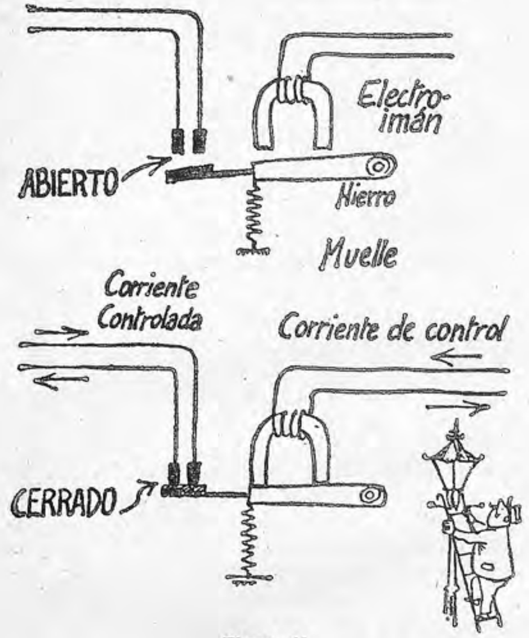


Figura 11

Un relé está compuesto por un electroimán, que sólo se magnetiza cuando se hace pasar por él la llamada *corriente de control.* Entonces atrae una pieza de hierro, colgada por debajo, que se encarga de poner en marcha una segunda corriente, la *corriente controlada.* Si se interrumpe la de control, el electroimán suelta el hierro y un muelle se encarga de situar el conmutador de la corriente controlada en la posición de desconectado.

De este modo se conecta y desconecta el sistema de iluminación de las calles de una ciudad. En el despacho del funcionario municipal responsable de esta misión hay un pequeño conmutador. Los hilos eléctricos van a

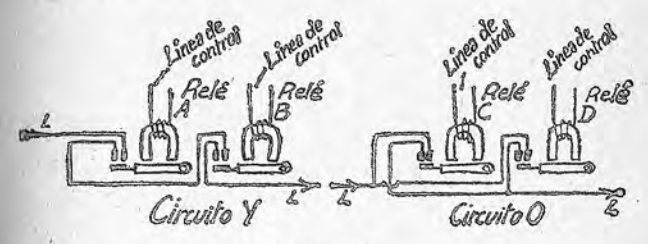


Figura 12

parar a un cierto número de relés distribuidos por toda la ciudad. El pequeño conmutador del despacho sólo necesita una corriente relativamente débil para poner en funcionamiento los relés y éstos a su vez, ponen en

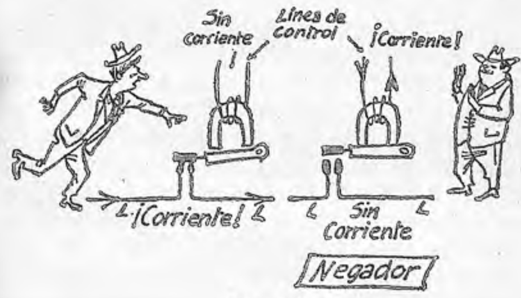


Figura 13

movimiento los grandes conmutadores de los que depende la iluminación de muchos miles de lámparas por toda la ciudad.

En la figura núm. 12 le dibujamos cómo se pueden construir un circuito O, y un circuito Y, por medio de relés.

En el caso del circuito Y, se debe enviar una corriente de control a través de los dos relés A y B, para que la corriente pueda circular por la línea L. En el caso del circuito O, es suficiente con que la corriente de control pase por C o por D, para que la corriente controlada siga su camino a través de dicha línea L.

¿Cómo funciona entonces el miembro negador? Muy sencillo, el conmutador de la corriente controlada está situado al otro lado de la pieza de hierro.

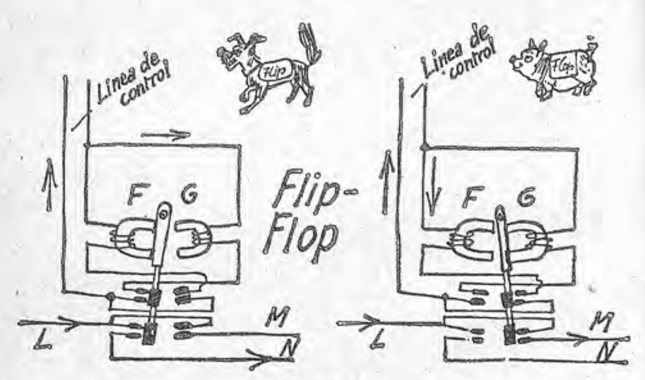


Figura 14

Cuando el relé recibe una corriente de control, ésta es interrumpida en L. Si no se recibe, se produce la conexión del conmutador y la corriente pasa a través de la línea L.

Un flip-flop es algo más complicado. Nos tememos que sólo los iniciados podrán comprender su actuación. A pesar de todo le dibujamos dos de ellos en la figura núm. 14.

En el dibujo de la izquierda está en acción el electroimán F. Ahora, la corriente dirigida pasa de L a N. Si a través de la instalación pasa un nuevo impulso de corriente —¡flip!—, se pone en funcionamiento el electroimán G. El flip-flop se desvía (del dibujo de la izquierda

al de la derecha). Ahora, la corriente controlada es dirigida hacia M. ¡Flop! Si se envía un nuevo impulso por la línea de control se obtiene otra vez la situación representada en el dibujo de la izquierda: la corriente controlada fluye de nuevo hacia N.

Y ahora puede usted detener la lectura un momento y respirar un poco, porque vamos a entrar ya en el terreno de la práctica. Con los conmutadores de relés que acabamos de describir, se podría construir una calculadora electrónica. ¿Se podría? Se puede. De hecho, ya se ha construido. Estos tipos de relés fueron utilizados en la construcción de las primeras calculadoras electrónicas, y realizaban correctamente su trabajo de cálculo, aunque con cierta lentitud. Los electroimanes no necesitaban mucho tiempo para poner en funcionamiento los conmutadores, pero el gran número de procesos a realizar hizo que las décimas de segundo se convirtieran en minutos, y éstos en horas (7).

Por eso empezaron a buscarse conmutadores que no actuaran según principios mecánicos. Se les descubrió en los tubos de radio, que funcionaban electrónicamente.

Rogamos nos disculpe si pasamos por alto la era de los tubos de radio (totalmente superada ya en la técnica de construcción de calculadoras), y vamos directamente a la de los transistores. Ya hemos mencionado con anterioridad la existencia de estos pequeños cristales maravillosos. También dijimos que los transistores pueden hacer todo lo que hacían los tubos de radio, y que no sólo son más pequeños que éstos, sino que, además, consumen mucha menos energía.

Antes, un relé necesitaba una décima de segundo para accionar un conmutador. En la actualidad, y después de muchos esfuerzos, se puede rebajar este tiempo hasta reducirlo a escasos milisegundos. Es éste un espacio de tiempo en el que apenas se puede escuchar un clic. A pesar de todo, es demasiado extenso en comparación con el utilizado por los transistores, tan pequeño, que sólo se puede medir con extraordinarios medios físicos,

estando situado en la zona de los *nanosegundos:* la milmillonésima parte de un segundo. Ningún ser humano es capaz de imaginar cuánto tiempo representa esta medida; en realidad, nosotros solamente hemos escrito algo aproximado para impresionarle. Un transistor puede actuar con tanta rapidez porque trabaja con una maravillosa simplicidad. No tiene ninguna inercia, porque en él no se mueve nada, a excepción de los electrones —las partes componentes de la corriente eléctrica—. Para explicarle cómo funciona un transistor, nos vemos obligados a elegir un ejemplo que requiere cierta concentración por su parte. Imagine que la corriente eléctrica es de agua, y que el transistor es la cañería por donde pasa esa corriente. El grifo, con el cual se regula la cantidad de agua que sale de la cañería, se puede mover con facilidad. En realidad, no necesitamos hacerlo manualmente, porque un chorro de agua muy fino puede hacerlo con la misma exactitud que nosotros. Si el chorro de control se hace más fuerte, el grifo deja pasar más agua. Si su fuerza desciende, el grifo le corta el paso.

El ejemplo es bastante correcto. El transistor sólo deja fluir una corriente eléctrica a través de su estructura cristalina con la fuerza permitida por la corriente de control aplicada al cristal.

Y ahora, puede usted olvidar todo lo que hemos escrito sobre los relés accionados magnéticamente. Acabamos de entrar en la era de los transistores; los electroimanes ya han representado su papel y pueden abandonar la escena. Hemos hablado de ellos para mostrarle cómo funcionan los circuitos de una computadora. En el caso de los transistores no podemos explicarlo con tanta claridad. Ni siquiera sus descubridores saben con exactitud los procesos que se desarrollan en ellos. Lo principal es que trabajan de una forma aproximadamente similar a como lo hacen los relés, aunque mucho mejor y con mayor rapidez.

Representado de forma esquemática, un circuito Y, o

bien un circuito O accionado por transistores, tendría el aspecto mostrado en la figura núm. 15.

También debemos decir que tanto los circuitos Y, como los circuitos O, no se limitan a constar de dos transistores. La corriente que hay en la línea L tiene que ser

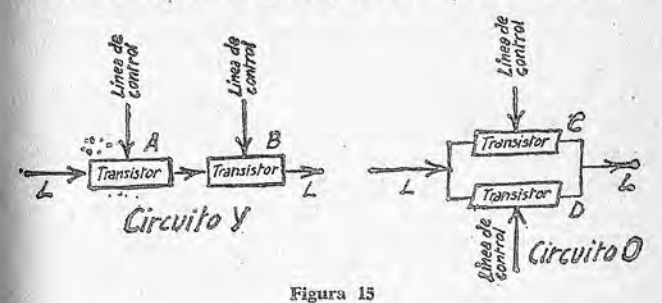


Figura 15

influida a veces por seis, once o diecisiete corrientes de control, y para eso se necesitan otros tantos transistores.

Para los profesores de electrónica representa dema-



Figura 16

siado trabajo dibujar todos estos elementos en sus circuitos. En lugar de ello utilizan símbolos simplificados.

A partir de ahora, nosotros también lo haremos así, de la forma como se indica en la figura núm. 16.

Y ahora le llega el turno al flip-flop. Si la explicación sobre su funcionamiento electromagnético ya fue una dura tarea, la de mostrar su actuación en el campo electrónico, es una cuestión reservada a los expertos. Para poderles explicar la estructura del flip-flop, ten-

dríamos que introducirnos profundamente en los misterios de las técnicas electrónicas de control (8). Lo mismo se puede decir de los miembros negadores. ¿No sería mejor para nosotros dejar esto para los expertos y anotar aquí los símbolos simplificados? Sinceramente, creemos que sí, por lo que ahí están representados en la figura núm. 17, tal y como los utilizaremos en este libro.



Figura 17

Ahora, considerando explicada la parte eléctrica, es cuando debemos combinar las diversas posibilidades de realizar operaciones de conmutación para poder efectuar cálculos. Pero quizá sea mejor hablar antes del código que vamos a utilizar para calcular. Naturalmente, podríamos elegir el de teletipo, que ya conocemos. Pero se nos ocurre otro: *el código ($^2/_5$).*

No negarán ustedes que este ($^2/_5$) da la impresión de ser algo muy científico. En cuanto al código ($^n/_5$) que hemos utilizado antes... No, eso aún lo tenemos que explicar.

El teletipo codifica el 2 como «10011», el 5 como «10000» y el 8 como «00110». Esto lo puede comprobar en la figura núm. 5. A veces, las cifras codificadas contienen dos «1», otras veces son cuatro, y otras sólo uno. El número «1» es indefinido, es un número «n», tal y como lo expresan los matemáticos. Por eso, al código de cinco canales con un número indefinido de «1» le llaman código ($^n/_5$), y esta expresión la leen diciendo *«código de n menos cinco»*. Pero quisiéramos pasar ahora a un código en el que el «1» siempre aparece dos

veces en cada signo; o sea a un código ($^{2}/_{5}$), llamado *código de dos menos cinco.*

Si pensamos ahora en términos numéricos, y no en letras o frases, un código de esta clase tendría el siguiente aspecto:

0 = 00011	5 = 01100
1 = 00101	6 = 10001
2 = 00110	7 = 10010
3 = 01001	8 = 10100
4 = 01010	9 = 11000

Si en las páginas siguientes calculamos utilizando este código, nos encontraremos en la mejor de las compañías, al hallarse a nuestro lado una señora anciana y muy seria, la famosa computadora ER 56, así como otras computadoras que también emplean este mismo código (9).

Ahora ya estamos listos para empezar. Imagínese a sí mismo como un ser muy pequeño, y síganos al interior del mecanismo calculador. Lo primero que verá serán las cinco guías paralelas, sobre las que siguen su

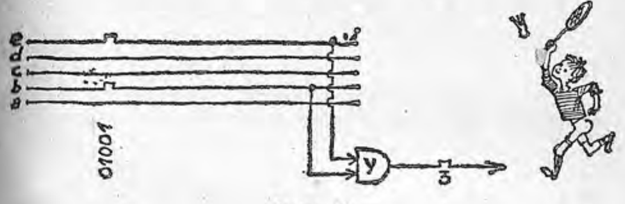


Figura 18

camino los impulsos procedentes del lector de cinta perforada o de la cinta magnética. Para disponer de una mejor visión de conjunto, bautizaremos a cada una de estas guías con las letras a, b, c, d, e. Y aquí llega ya, a través de la cinta perforada, el número 3, representado por «01001». Inmediatamente dirigimos el impulso hacia nuestros cinco canales. Lo reconocerá usted por la pequeña protuberancia, tal y como aparece en la figura núm. 18.

Ahora debemos intentar convertir los impulsos del «01001» en uno solo que signifique «3». ¡Eso no es ningún problema! ¿Para qué nos sirven, si no, nuestros circuitos Y? Sacamos uno del cajón y ponemos en conexión sus dos líneas de control con los hilos b y e. Así está representado en la figura núm. 18. ¿Qué ocurre ahora? Los dos «1» del símbolo «01001» forman una protuberancia en las líneas de control, llegan al circuito Y, y originan un nuevo impulso en su línea de salida. Este es el equivalente del número 3.

Nuestro circuito funciona a la perfección. Pero en la práctica ha realizado un proceso algo más complicado, con objeto de asegurarse. Dicho proceso está representado en la figura núm. 19.

Los tres miembros negadores introducidos en las líneas se preocupan para que, cuando llegue un «01001», no exista ningún impulso allí donde hay un «1». En una combinación de este tipo, el circuito Y sólo puede responder cuando le llegan cinco impulsos al mismo tiempo.

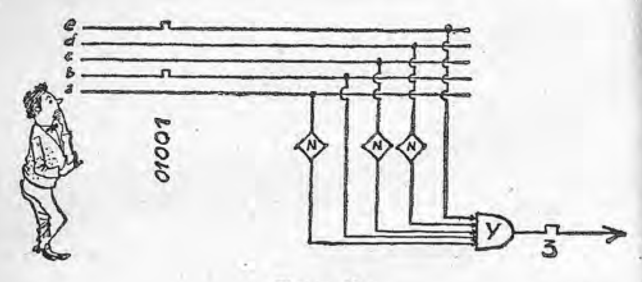


Figura 19

¿No da la impresión de que la introducción de los tres miembros negadores es algo innecesario, representando incluso un gasto ridículo de dinero? Mientras todo se desarrolla sin equivocaciones, los miembros negadores no son absolutamente indispensables. Pero supongamos que, por un defecto, un error, o cualquier

accidente estúpido, llegara el signo «11001». Su existencia no está prevista en el código. Sin la presencia del miembro negador, el circuito Y correspondiente a «3» contestaría adecuadamente a los impulsos, pero también lo haría el circuito Y correspondiente al «6», ya que su signo es «10001», e incluso el circuito Y correspondiente al «9», cuyo signo es «11000». ¡Menudo lío tendríamos entonces!

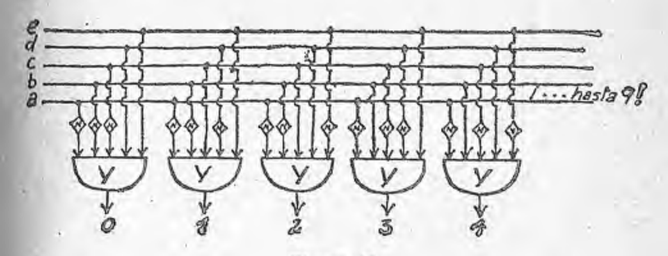


Figura 20

Pero en este caso, el miembro negador del circuito Y para «3», conectado con el canal a, convertiría el impulso erróneo «1» que llega por el canal a, en un «0». El circuito Y, que sólo reacciona ante cinco impulsos «1», no respondería. Tampoco reaccionarían los circuitos Y correspondientes a «6» y «9». La máquina detendría su proceso de cálculo, y se podría buscar el error y empezar de nuevo.

Por favor, cuando hablemos, tanto de circuitos Y como de circuitos O, piense que siempre contienen este tipo de miembros negadores. A partir de ahora, no los incluiremos en nuestras figuras, con objeto de no recargar demasiado los esquemas.

Y para cada uno de los números que van del 0 al 9, ambos incluidos, soldaremos un circuito Y en nuestros cinco hilos, tal y como se muestra en la figura núm. 20.

Hagámoslo de nuevo. Tomemos cinco hilos (a los que podemos llamar f, g, h, i, j) y coloquemos en ellos

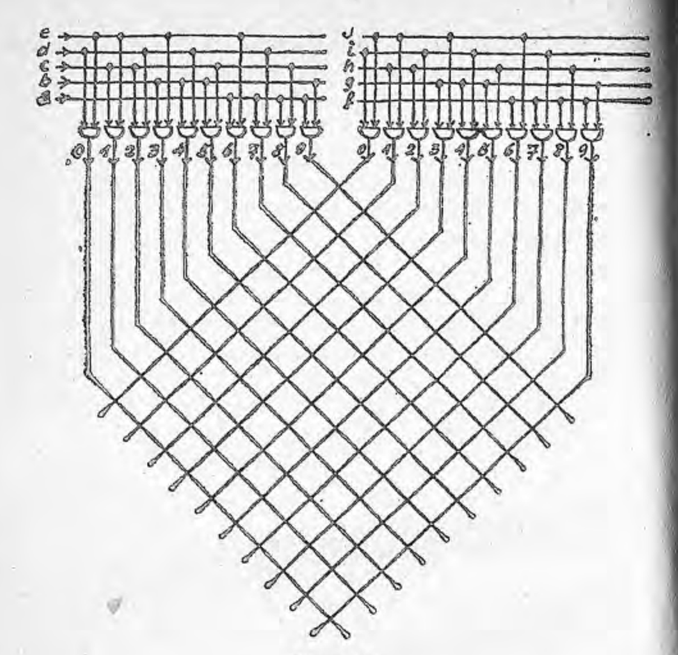


Figura 21

otros diez circuitos Y. Después, ordenemos las líneas de salida de los diez primeros circuitos Y, de forma que transcurran paralelamente, y coloquemos las líneas de salida del segundo grupo de diez circuitos Y perpendicularmente sobre los primeros, formando así el dibujo que se muestra en la figura núm. 21.

Es bonido, ¿verdad? Pero no es precisamente la estética lo que nos importa. Lo que estamos haciendo es construir una *matriz de adición.*

Los hilos que se cruzan están aislados, de forma que la corriente no pueda pasar caprichosamente de unos a otros. Pero en cada uno de los cruces se suelda un circuito Y. Las matemáticas elementales, que también se aplican en el cálculo electrónico, demuestran que disponemos ahora de 100 nuevos circuitos Y. No es nece-

sario dibujarlos todos. En la figura núm. 22 sólo mostramos un pequeño fragmento con nueve.

En una dirección hemos escogido las líneas para los números 2, 3 y 4, y en la dirección transversal para los números 5, 6 y 7. A estos nuevos circuitos Y les hemos bautizado con letras minúsculas: l, m, n, o, p, q, r, s y t.

¡Y ahora ha llegado el tan ansiado momento de sumar!

Un «00110» llega a través de las líneas a, b, c, d y e, es reconocido por su circuito Y como un «2» y dirigido hacia la red de la matriz.

Un segundo signo, el «10010» corre por los hilos f a j, siendo igualmente introducido en la matriz como un «7». El impulso «2» de la izquierda y el «7» procedente de la derecha, se encuentra en el circuito Y al

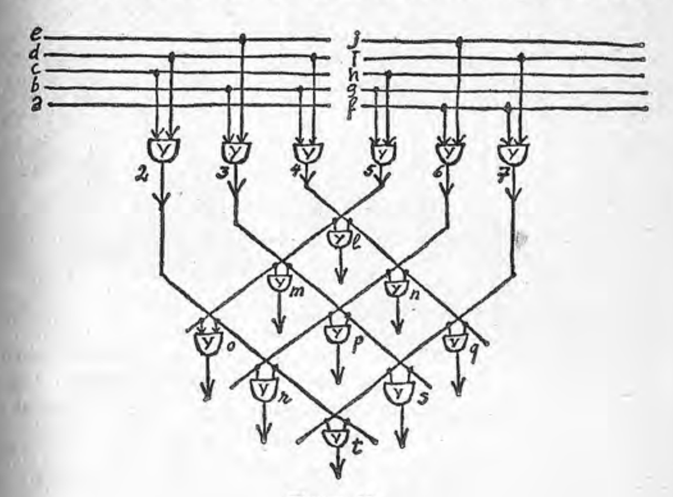


Figura 22

que hemos bautizado con la letra minúscula t. Dicho circuito reacciona y emite un nuevo impulso que significa 2 más 7, o sea 9.

Si se encuentran dos impulsos, uno procedente de la línea «3» y el otro de la línea perpendicular «5», actúa

el circuito Y correspondiente a la letra minúscula m, emitiendo un nuevo impulso de corriente que tiene el significado de «8». Si las líneas que se encuentran son la «2» y la «6», actúa el circuito Y correspondiente a la r, cuyo resultado también es 8.

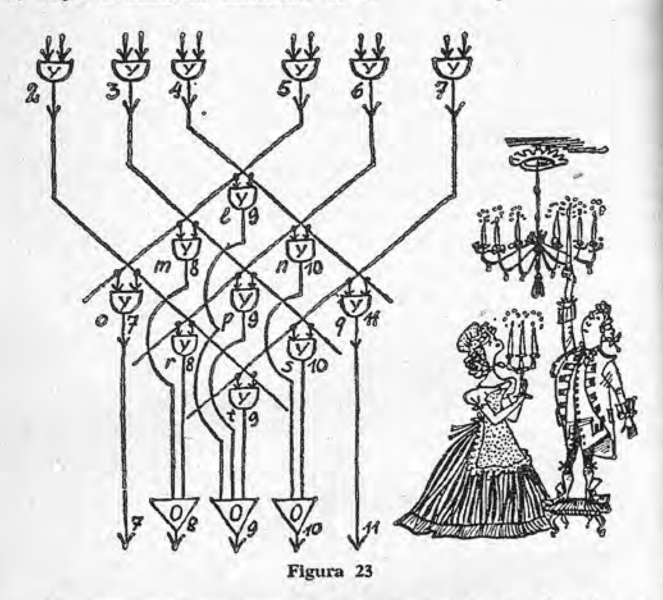


Figura 23

Si queremos realizar nuestra tarea a conciencia, podemos establecer una tabla en la que se muestren los circuitos Y, así como las sumas que les correspondan:

l = 9	o = 7	r = 8
m = 8	p = 9	s = 10
n = 10	q = 11	t = 9

Les rogamos tener siempre en cuenta que aquí únicamente estamos examinando un pequeño fragmento de la matriz, tan minúsculo que ni siquiera abarca una décima parte de su capacidad. Los 100 circuitos Y de un matriz de adición completa ofrecen todos los números comprendidos entre el 0 (porque $0 + 0 = 0$) y el 18

(porque 9 + 9 = 18). Los números 0 y 18, como resultado de las sumas efectuadas, sólo pueden aparecer una vez, mientras que todos los demás aparecen en varios circuitos Y. El 9, por ejemplo, llega a aparecer diez veces como suma (0 + 9, 1 + 8, etc. hasta el 9 + 0). Todas las líneas de salida que dan como resultado la misma suma, están reunidas por medio de circuitos 0. En nuestro ejemplo, esto tendría el aspecto que se ofrece en la figura núm. 23.

Como en nuestro ejemplo anterior, la utilización de los circuitos O significa que en la matriz completa de adición sólo existe al final una línea de salida para cada una de las sumas cuyos totales van del 0 al 18.

Ahora bien, los impulsos que salen de los circuitos O en forma de sumas, deben ser traducidos de nuevo al lenguaje mecánico. El impulso «7» debe convertirse en un «10010», y el «3» en un «01001». No obstante, esto es lo más sencillo del mundo. Al igual que la corriente eléctrica que pasa por una lámpara de brazos se puede

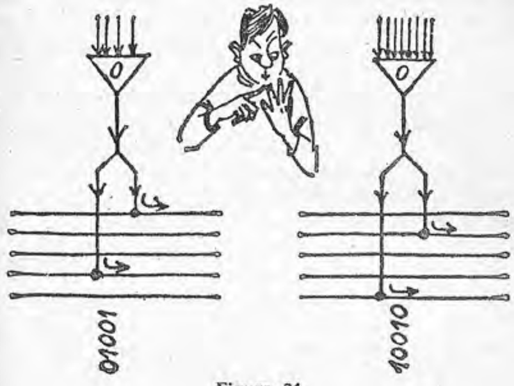


Figura 24

repartir en una, dos o más bombillas, un impulso también puede ser enviado por diversas líneas. Para codificar los impulsos correspondientes al «3» o al «7», basta con soldar los hilos correctos. Así lo podemos ver en el dibujo de la figura núm. 24.

Si ahora se quiere continuar la suma con otras cifras, el resultado obtenido en este momento —que ya ha sido codificado de nuevo—, debe ser enviado a través de los hilos a-e hasta la matriz de adición, permitiendo al mismo tiempo que de la cinta perforada fluya un nuevo número a través de los hilos f - j. El resultado es una nueva suma, que puede ser nuevamente... etc.

¿Pero qué ocurre cuando la suma es mayor que 9? Claro que la matriz de adición puede dar resultados hasta 18, ¿pero de qué nos sirven? De acuerdo con nuestro esquema, un número mayor que 9 no puede ser ni codificado, ni transmitido a la matriz.

Y no sólo se trata de eso, ¿qué podemos hacer con estas cifras de un solo número? ¡No vamos a emplear una calculadora electrónica para sumar dos y dos!

Claro que no. Para las cifras compuestas de varios números disponemos de otras matrices; así, existe una matriz especial para las centenas de millar, otra para las decenas de millar... hasta las centenas, las decenas y las unidades. También podemos sumar, en una sola matriz, primero las unidades, después las decenas, posteriormente las centenas... Pero de eso hablaremos más adelante.

¿Qüé ocurre cuando aparece un número mayor que 9 mientras estamos sumando, como por ejemplo el 17? En tal caso, la computadora electrónica actúa como un estudiante: escribe siete y llevamos una. El siete permanece en la matriz de las unidades, siendo transmitido hacia el circuito O en forma de «7». El uno que lleva», la llamada *sobrecapacidad,* es dirigido hacia la matriz siguiente, perteneciente a las decenas, para ser introducido allí en el circuito O correspondiente al «1».

Quizá sea mejor presentarles un dibujo que explique cómo se efectúa el paso de la matriz de las unidades a la de las decenas. Lo verá usted en la figura núm. 25.

Ahora ya conoce usted bien el mecanismo de adición de una calculadora electrónica. Con un poco de fantasía puede imaginar lo que ocurre cuando, por ejemplo, se han de sumar las treinta y seis cifras de una cuenta del supermercado (las calculadoras electrónicas que trabajan en los almacenes se ocupan de este tipo de tareas). Lo único que tiene que hacer la persona

encargada de la caja es anotar una de las cifras en un teletipo, a través de una cinta perforadora, para que de allí pasen a la calculadora electrónica. Dichas cifras van pasando una tras otra a la matriz de adición para... ¡pero un momento! ¿No le parece que debe haber algún error?

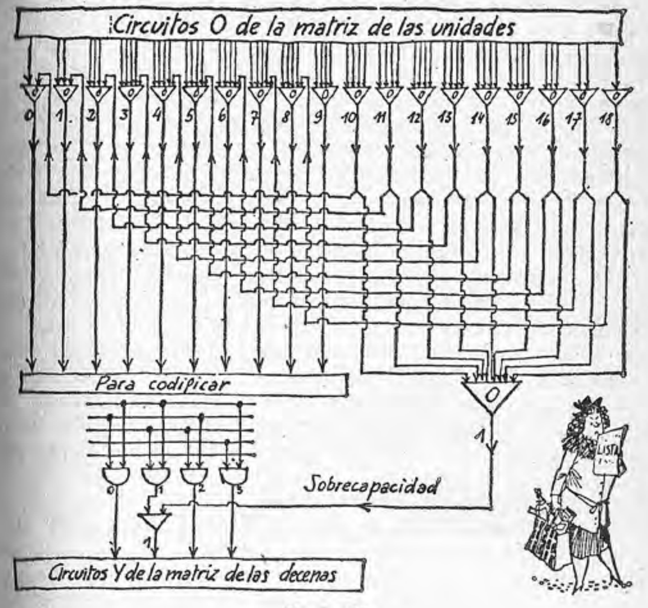


Figura 25

Así es, en efecto. Hay algo en alguna parte que es falso. Hemos dicho que la matriz de adición sólo puede calcular dos cifras, y que los impulsos de ambas deben llegar a la matriz necesariamente en el mismo momento y desde dos partes. De otro modo no actuarían los circuitos Y. ¡Pero las cifras llegan una tras otra a la cinta perforada, y no al mismo tiempo! Además, una vez sumadas las dos primeras, ¿cómo se reciben los

impulsos de la tercera en el momento oportuno? ¿Y las treinta y tres cifras restantes? ¿Y... y...?

Tiene usted toda la razón. Así no se llega a ninguna parte. Para poder calcular con una matriz de adición se necesitan las llamadas *memorias*, cuya existencia le habíamos estado ocultando hasta ahora y donde se pueden conservar los impulsos de las cifras codificadas hasta entonces, en espera del momento en que se las necesite.

Sin embargo, no podemos explicarle aquí cómo es una memoria, pues en tal caso tendríamos que renunciar a escribir el capítulo siguiente. Le rogamos, pues, nos conceda un poco de confianza y crea lo que le decimos: existen memorias de esta clase; imagínelas como pequeñas vías de maniobra, en donde los impulsos eléctricos pueden esperar durante breves momentos, saliendo de allí ante una orden determinada. De hecho, éste es el principio para el que han sido construidas.

Lo primero que hace nuestra calculadora electrónica con la cuenta del supermercado es absorber las 36 cifras introducidas en la cinta perforada, y enviarlas a una memoria. Sólo entonces comienza realmente el cálculo. Los lugares de memoria correspondientes a las dos primeras cifras son puestos en contacto con la matriz de adición, siendo sumadas allí y enviadas después, en forma de resultado de la suma, a un lugar vacío de dicha memoria.

Esta ha sido la primera fase.

Segunda fase: la suma que acaba de llegar a la memoria, es enviada de nuevo a la matriz de adición. En el mismo fragmento de segundo **la** tercera cifra abandona el lugar que pasó a ocupar en la memoria y penetra en la matriz. La primera suma y la tercera cifra son sumadas, dando un nuevo resultado, que también es enviado a otro lugar vacío de la memoria.

Tercera fase: se suman el nuevo resultado así obtenido y la cuarta cifra memorizada... y la calculadora continúa su trabajo de este modo, hasta que ha sumado las 36 cifras. El último resultado, el definitivo, es memorizado una vez más. De la memoria, dicho resultado final es enviado a un teletipo, o a una cinta perforada, o a una cinta magnética, o sea, allí donde se

necesita saber el resultado para mecanografiarlo sobre la cuenta del cliente, o para extraerlo de su cuenta personal, lo que también se realiza electrónicamente.

Por otro lado, y aunque la matriz no lo haga necesario, las cifras de las cintas perforadas son almacenadas en memorias. Como veremos más adelante, hay computadoras electrónicas que calculan sin matrices de adición y que, en consecuencia, no necesitan ninguna memoria para cumplir esta tarea. Pero disponen de otro tipo de mecanismos para reunir en ellas todos los datos de una cuenta.

La razón de este almacenamiento se encuentra una vez más en el hecho de que la velocidad de actuación de las computadoras es muy diversa. Los mecanismos calculadores de los distintos cerebros electrónicos trabajan a velocidades diferentes, pero siempre con mayor rapidez que un elemento sensible a la cinta taladrada, o un lector de tarjetas perforadas.

La velocidad de un mecanismo calculador depende mucho de la calidad y estructura de sus circuitos O e Y. Al igual que hace un metrónomo con respecto a un estudiante de piano, un *mantenedor de fase* procura que se mantenga un ritmo de tiempo uniforme, y mide el que debe durar una fase de cálculo. Ya antes nos hemos referido a esta clase de fases, ¿lo recuerda? Primera: suma de las dos primeras cifras..., etc. En la práctica sucede que una operación de cálculo está dividida en varias: primera fase, los impulsos fluyen hacia la matriz de adición. Segunda: son sumados. Tercera: codificación del resultado de la suma. Cuarta: memorización de dicho resultado. Sin embargo, no puede comenzar ninguna de ellas mientras el mantenedor de fase no emita una señal, dando una característica peculiar a los impulsos, que significa: «¡A trabajar!» Sólo de este modo se puede estar seguro de que la calculadora funcionará con uniformidad, sin perder su ritmo, ni siquiera cuando se tengan que hacer las manipulaciones más difíciles, durante las cuales se suelen realizar varias operaciones de cálculo, sucesivas.

Es evidente que, si el mantenedor de fase pierde su propio control, inutiliza por completo toda la calculadora.

Cuanto más corto sea el *período de fase*, o sea lo que dura una de ellas, con tanta mayor rapidez trabajará la calculadora. Y cuanto más rápidamente calcule, tanto más valiosa será. Por eso, los fabricantes de calculadoras electrónicas intentan conseguir que dichos períodos sean lo más pequeños posible. En la actualidad, una diezmillonésima de segundo es considerada como un período de fase razonable. No obstante, también se construyen calculadoras que lo poseen de una milésima de segundo, y no por ello dejan de realizar bastante bien su trabajo (10).

Así pues, apenas vale la pena pensar en el tiempo que tardaría una calculadora electrónica rápida en realizar la suma de nuestras 36 cifras. Una suma de 36.000 cifras —que podrían representar las compras de mamá durante diez años—, sería resuelta en diez segundos. Con esta rápidez, la cinta perforada pierde todo su valor, pues necesitaría por lo menos 0,001 segundo para pasar tan sólo una. Aunque únicamente fuera por esta razón, se comprendería que es mucho mejor acumular sus informaciones en memorias, capaces de mantener el mismo ritmo de trabajo que el mecanismo calculador.

Con estas memorias también se pueden ahorrar matrices de adición. Ya lo hemos indicado así con anterioridad. Una sola matriz es suficiente para abarcar todos los lugares que van desde la unidad hasta los millones, siempre y cuando se intercalen memorias intermedias. Una vez que la matriz de adición ha sumado las unidades, el resultado es memorizado. Lo mismo ocurre con el resto. Después, las decenas memorizadas son enviadas a la matriz de adición, incluyendo el resto sobrante de las unidades. Allí, son sumadas y memorizadas. Entonces, la matriz de adición procede de igual forma con las centenas..., etc.

En este caso, la calculadora electrónica actúa como, por ejemplo, el camarero del restaurante: suma primero los céntimos, después la columna de las unidades, la de las decenas, centenas, etc.

En las computadoras modernas ya casi se ha convertido en regla el disponer de una sola matriz de adición, prefiriéndose a cambio la introducción de mayor cantidad de memorias intermedias. En la práctica tienen

que sumar cantidades tan enormemente largas, con tantos números delante y detrás de la coma, que si se tuviera que construir una matriz de adición para cada lugar, necesitaríamos un gran camión de transporte. Pero ni siquiera los fabricantes y compradores de cerebros electrónicos, acostumbrados a invertir grandes sumas de dinero, están dispuestos a gastarlo así. Sobre todo porque no les basta con las matrices de adición.

La computadora debe poder hacer más cosas: extraer raíces, tanto cuadradas como cúbicas, multiplicar, obtener el valor de tangentes, cosenos y todas esas cosas que nos ayudan a convertir nuestra época escolar en los días más felices de nuestra vida. ¿Es que la computadora necesita una instalación aparte para realizar todas estas operaciones? ¿Es que vamos a hablar en este libro de todos esos horrores?

No se preocupe. No hablaremos de ellos. La computadora no sabe cómo extraer raíces, por no hablar de los cosenos. Lo que sí puede hacer es restar. También hay matrices multiplicadoras en las que, si un «3» y un «5», se encuentran, producen un «15» en la línea de salida del circuito Y correspondiente.

Pero hasta la división es ya demasiado para una computadora. Generalmente, no puede realizarla, al menos en la forma que nosotros conocemos. Para poder hacerla tiene que restar, deduciendo tantas veces como sea necesario el divisor (cantidad por la que ha de dividirse otra) del dividendo (cantidad que ha de dividirse por otra), hasta que ya no sea posible efectuar ninguna resta más. Un mecanismo numerador se encarga de registrar cada una de las veces que esto ocurre, proporcionando así el número buscado.

Ni siquiera los cerebros electrónicos de mejor calidad pueden hacer más, por mucho que lo intenten. Todas las complejas operaciones de las matemáticas superiores deben ser reducidas a estas tres operaciones elementales: sumar, restar y multiplicar (11). Y aquí es donde se encuentra el verdadero valor de las computadoras electrónicas: ordenar las tareas más complicadas de tal modo que hasta la calculadora más simple pueda resolverlas. A los especialistas que dominan

este arte se les ha dedicado todo el capítulo séptimo de este libro.

Y ahora, díganos con toda sinceridad: ¿no se ha preguntado, durante la lectura de estas últimas páginas, qué ocurriría si una calculadora electrónica cometiera un error? ¿O es que eso no puede ocurrir nunca?

Sí, ocurre. Desgraciadamente. Claro que ya no pasa con tanta frecuencia como hace unos años, pero continúa sucediendo. Es una lástima, porque una computadora electrónica que calcula, por ejemplo, la ruta de un ingenio espacial tripulado, no debería equivocarse jamás.

Sin embargo, no se ha llegado a conseguir una seguridad total. Existen, por fortuna, toda una serie de métodos dignos de confianza con los que, si bien no se descartan los errores de cálculo, se les puede descubrir con relativa rapidez, corrigiéndolos después. Uno de esos métodos, muy antiguo por cierto, es el de hacer cada cálculo por partida doble, y al mismo tiempo, empleando para ello dos mecanismos calculadores diferentes, pero pertenecientes a una misma computadora. Las antiguas calculadoras «Univac» se controlaban a sí mismas de acuerdo con este principio. Tomaban automáticamente los resultados parciales de los dos mecanismos calculadores, y los restaban entre sí —por decirlo de un modo simple—. Si las dos cifras eran iguales, el resultado tenía que ser forzosamente cero. Si en la operación quedaba algún resto, uno de los dos cálculos tenía que ser erróneo, y las propias máquinas daban la alarma: los dos respectivos mecanismos calculadores detenían su proceso de cálculo y encendían una luz de aviso.

Dos veces mejor que una, dice el refrán. Pero también es más caro Para los niveles actuales, estas máquinas de actuación doble resultan demasiado costosas. Además, ahora se conocen otros métodos para controlar los resultados de los cálculos. Se trata de las llamadas *comprobaciones de código.*

Pero antes de explicar cómo operan, debemos comprender cómo se puede equivocar una computadora. Las memorias, o alguna de las partes de que está compuesto el mecanismo de cálculo, pueden sufrir graves

daños. Nadie es capaz de evitar este tipo de accidentes ocasionales, pero no por ello se cometerán errores. En tales casos, la máquina no podrá continuar sus cálculos y se detendrá. Lo más frecuente es que falle un transistor, que se desprenda una soldadura, o que aparezca un pequeño defecto en una de las memorias. Cuando ocurre esto, se puede perder uno de los impulsos de una cifra codificada. Lo que antes era «01010» se convierte entonces en un «00010» o en un «01000». Naturalmente, esto provoca complicaciones y resultados sin sentido. De vez en cuando se introduce un nuevo impulso en un proceso de cálculo y en lugar de tres «1» aparecen de pronto sólo dos «1». Más tarde, una vez descubierto el error, ningún técnico es capaz de decir de dónde ha salido ese pequeño impulso adicional. Parece como si hubiera llovido del cielo.

Y ahora comprenderá usted por qué es conveniente utilizar para los cálculos un código ($^2/_5$). Recordará usted que cada uno de los signos de este código está compuesto de dos «1» y tres «0». Para efectuar una comprobación de código sólo se necesita observar de vez en cuando, durante el transcurso del proceso de cálculo, si cualquiera de los resultados parciales continúan teniendo dos «1». Para ello se distribuyen flip-flops individuales en muchos puntos, cuyas posiciones han sido cuidadosamente estudiadas. Cuando pasan por delante de ellos los impulsos correspondientes a un resultado parcial, una parte de su energía eléctrica se desvía, de modo que, mediante una instalación adecuada, ya no correrá paralelamente sobre los cinco hilos, sino que fluirá detrás de los impulsos que corren por ellos, dirigiéndolos hacia el siguiente flip-flop de control. Si los impulsos son dos, como debe ser, ponen en funcionamiento el flip-flop, una vez en cada dirección, y todo vuelve a estar en orden. Pero si sólo hay un impulso, o son tres, el flip-flop se mantiene en la posición falsa y no tarda en sonar la alarma: se escucha una campana, se ven señales que parpadean, se enciende una luz en un panel, mostrando en qué parte de la calculadora está situado el flip-flop que ha detectado el error, y los altavoces llaman al especialista. ¡Nadie puede abandonar la habitación en esos momentos!

Quizá se le ocurra ahora una nueva objeción. ¿Qué ocurrirá si, por una desgraciada casualidad, desaparecen no sólo un impulso, sino los dos? ¿Y si desaparece uno y se introduce otro falso? ¡En tal caso el flip-flop no se da cuenta de nada!

En efecto, nadie lo percibe. Pero este caso es tan improbable que se actúa como si no fuera posible. En las máquinas actuales sólo aparece un error sencillo entre... digamos 100.000.000 (¡cien millones!) de operaciones de cálculo, aunque en realidad no se sabe con exactitud. Según las leyes de la probabilidad, sólo después de la operación 100.000.000 por 100.000.000 aparecería un doble error incontrolable, o sea que dicho error únicamente se cometería después de haber realizado 10.000.000.000.000.000 operaciones de cálculo. Podemos afrontar este riesgo.

Además, también existen otras posibilidades de control. Los miembros negadores situados delante de los circuitos Y, así como de los circuitos O, de los que hemos hablado al principio de este capítulo, se preocupan para que los números codificados, sólo puedan informar con los impulsos correctos.

Al procedimiento de cálculo con las matrices de adición y de multiplicación de las que hemos hablado hasta ahora, se le llama *cálculo por coordinación*. De hecho, las matrices no calculan en absoluto. Sería más correcto decir que examinan los resultados, como si fueran una tabla o baremo. ¿Cuántas son ocho por tres? ¡Veinticuatro, claro! El punto de intersección entre las líneas «8» y «3» es el circuito Y que corresponde a la línea de salida «24», por lo que dicha línea está *coordinada*, sin tener que estar forzada por una necesidad matemática. Pero no sólo son los números los que pueden estar conectados por *coordinadores* o *matrices*, sino también los hechos de tipo general. Más adelante hablaremos sobre esto.

Aún existe otro método de cálculo electrónico: el *binario*. Se trata de un método histórico de las calculadoras electrónicas, pero no debemos olvidarlo pues aún es utilizado en la actualidad por muchas computadoras.

Y ahora, debemos rogarle que se familiarice con un

nuevo código. Se trata de un código de 35 canales. Sí, ha leído usted bien. Ya sabemos que 35 canales son muchos canales. No existen cintas perforadas, ni cintas magnéticas dotadas de tantos. Las cintas tendrían que ser tan anchas como esos rollos de papel a los que nadie relaciona con problemas de tipo intelectual (y, por favor, perdónenos la comparación... ¡es que no encontramos otra mejor!). Por eso se utilizan cintas de papel y magnéticas con siete canales, tomándose siempre cinco filas como una unidad.

Treinta y cinco canales. Eso significa 35 bits para cada número codificado. Como usted supondrá, no se trata aquí de simple generosidad. A continuación, verá usted lo que se puede hacer con ellos:

0000000 0000000 0000000 0000000 0000000 = 0
0000000 0000000 0000000 0000000 0000001 = 1
0000000 0000000 0000000 0000000 0000010 = 2
0000000 0000000 0000000 0000000 0000011 = 3
0000000 0000000 0000000 0000000 0000100 = 4
0000000 0000000 0000000 0000000 0000101 = 5

Este código es un poco complicado para cifras de un solo número. Pero también es capaz de expresar cifras enormes. La mayor es:

1111111 1111111 1111111 1111111 1111111 = 34.359.738.367

El código no puede aumentar más, pero ya parece una cifra respetable: ¡34 mil millones! Si utilizáramos nuestro antiguo código de cinco canales, necesitaríamos once veces cinco bits, para expresar esta cifra de once guarismos, o sea veinte bits más de los que necesitamos en el código de 35 canales. Así pues, éstos ya no parecen tan incómodos, sobre todo cuando se trata de hacer cálculos con cifras muy grandes.

Tampoco hay necesidad de que sean 35 canales exactos, si es que se quiere calcular por sistema binario. Hemos elegido este ejemplo porque las más famosas computadoras binarias trabajan con un sistema de canales

de esta magnitud. Otros métodos emplean 30, 33, 36 y hasta 40 canales. En cualquier caso, son muchos más de los que utilizamos en nuestro código de cinco. Ello se debe a que en el cálculo binario no es posible codificar cualquier guarismo en un número de varios, sino que todo el número debe ser convertido en bits al mismo tiempo.

De todos modos, en los ejemplos que le vamos a mostrar ahora, nos las arreglamos bien con cifras pequeñas. Por eso nos vamos a limitar a un código de cuatro canales. Eso será suficiente para expresar del 0 al 15. A los números codificados les vamos a llamar *binarios*, tal y como hacen los científicos modernos. La tabla sería la siguiente:

0000 = 0	0110 = 6	1100 = 12
0001 = 1	0111 = 7	1101 = 13
0010 = 2	1000 = 8	1110 = 14
0011 = 3	1001 = 9	1111 = 15
0100 = 4	1010 = 10	
0101 = 5	1011 = 11	

Si observa usted el código de 35 canales que hemos incluido anteriormente parcialmente, podrá comprobar que nuestro código de cuatro canales es exactamente igual, dejando aparte el hecho de que le faltan los muchos ceros que hay en los primeros 32 lugares. No es ninguna casualidad. Todos los códigos utilizados para calcular por el sistema binario, son iguales. (Considerándolo con toda exactitud no se trata de códigos, o sea, no son un lenguaje artificial compuesto de símbolos, sino más bien un sistema numérico propio, sometido a unas reglas tan rígidas como nuestro sistema decimal. La sucesión numérica 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc., es tan inconmovible como la sucesión binaria 1, 10, 11, 100, 101, 110, etcétera. Pero quizá sólo sienta usted un interés marginal por esto. Así pues, seguiremos hablando de *código binario,* aunque no sea totalmente correcto.) (12).

Empecemos ya a calcular, según el código binario. El procedimiento es bastante curioso. ¿Cuántas son tres

más cuatro? De acuerdo con el código, la contestación es «0011» más «0100». Escriba las dos cifras una debajo de la otra, como si no fueran señales de un código, sino números corrientes, y súmelos:

$$\begin{array}{r} 0011 \\ +\ 0100 \\ \hline =\ 0111 \end{array}$$

Veamos el código, a ver lo que significa... ¡«0111» es igual a 7! ¡La operación está bien hecha! ¿Qué ocurrirá si sumamos dos más cuatro? Veamos:

$$\begin{array}{r} 0010 \\ +\ 0100 \\ \hline =\ 0110 \end{array}$$

El resultado vuelve a ser correcto, porque «0110» es 6.

Continuemos sumando. ¿Qué le parece dos más seis? Según el código binario serían:

$$\begin{array}{r} 0010 \\ +\ 0110 \\ \hline =\ 0120 \end{array}$$

El resultado que hemos obtenido ahora es bastante sospechoso, porque el «0120» no es ningún número del código, ya que en éste no existe el «2». Sólo conocemos la existencia del «0» y del «1». ¿Acaso no es correcto nuestro sistema de cálculo? Sí, es correcto. Lo que ocurre es que no debemos sumar uno más uno igual a dos. Así lo aprendemos en la escuela, pero en nuestro cálculo binario $1 + 1 = 10$.

Esto parece anormal. A pesar de todo, es correcto: «Uno más uno es igual a uno-cero (¡diez es otra cosa!),

escribo el cero y llevo uno.» Quien no lo crea puede hojear los libros especializados y se encontrará con que, hace ya más de trescientos años, en 1674, el gran matemático Leibniz calculaba así por puro placer. Existe incluso un tratado de aquella época, titulado *El cálculo del señor Leibniz con el cero y el uno,* cuya lectura resulta muy interesante. Por otra parte, el famoso matemático ya bautizó este sistema de cálculo con el nombre de «binario» (porque está compuesto de dos cifras), en contraposición a nuestro sistema decimal utilizado corrientemente (que establece divisiones de diez partes).

Y ahora, volvamos a nuestro cálculo y hagámoslo correctamente:

```
   0010
 + 0110
     11
 ------
 = 1000
```

Según el código binario «1000» es igual a 8. ¡Entonces, está bien!

La máquina electrónica calcula tal y como acabamos de hacerlo nosotros. Para ello no necesita matrices de adición, sino flip-flops. Tantos como canales tenga el código, o sea 35 en el caso de un código de 35 canales, y cuatro para nuestro código especial. Para abreviar hemos bautizado a cada uno de estos flip-flops con las letras A, B, C y D.

Las líneas de control de cada uno de los cuatro flip-flops proceden de la memoria. De allí llegan las cifras codificadas —al igual que las matrices de adición—, que debemos utilizar para nuestros cálculos. La línea M de cada flip-flop va directamente a la de control contigua, y éste es el camino que debe recorrer el resto, aparecido cada vez que sumamos «1» más «1» igual a «10». Las líneas de salida N son las que conducen de nuevo a la memoria. Allí es donde se debe elaborar por sí mismo el resultado del cálculo.

Y ahora, empecemos. Primero sumemos tres y cuatro, o sea «0011» más «0100». Ya tenemos el «0011». En la figura núm. 26 los impulsos ya están siguiendo su camino, en forma de esas protuberancias que nos son fa-

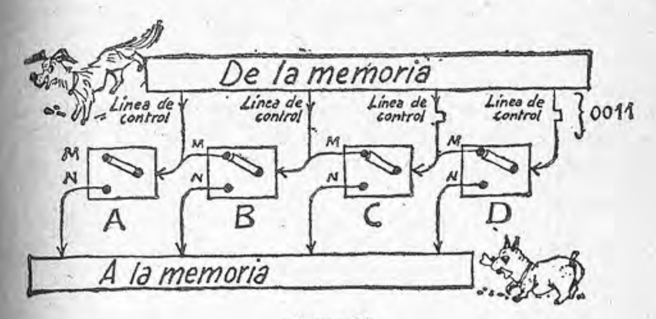


Figura 26

miliares, dirigiéndose hacia los flip-flops C y D. La figura núm. 27 muestra lo que ocurre como consecuencia de la acción de estos dos impulsos: C y D pasan de la posición M a la N.

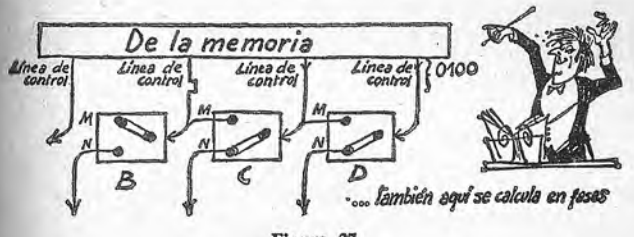


Figura 27

En la fase siguiente (aquí también se calcula en fases), llega el 4, codificado en forma de «0100». El impulso pasa al flip-flop B a través de la línea de control. En nuestra figura ya se puede ver el impulso dibujado. En cuanto ha llegado a su destino, la cadena de flip-

flops adopta el aspecto que se muestra en la figura número 28.

Ahora, el flip-flop B también ha pasado a la posición N. Y el resultado de la suma nos llega en forma de im-

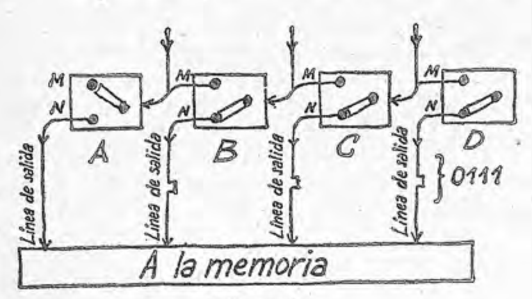


Figura 28

pulsos, a través de las líneas de salida de todos los flip-flops que se encuentran en la posición N: «0111», lo que es igual a 7. ¡Nuestros flip-flops han calculado!

¿Hacemos otra operación? Mantengamos ahora el

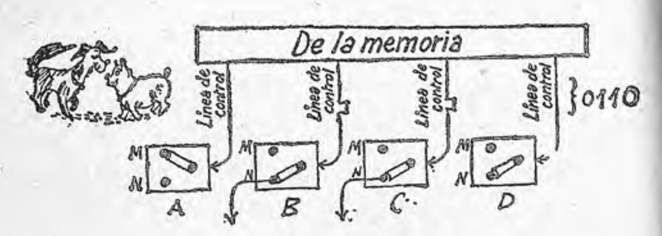


Figura 29

«0111» obtenido, al que deseamos sumar seis, o sea «0110» en forma codificada. En la figura núm. 29 (superior), los impulsos ya se están aproximando por las líneas de control.

Apenas han llegado los impulsos, los flip-flops B y C pasan a la posición M, tal y como se muestra en la figura núm. 29 bis (inferior).

Y ahora se produce lo mejor de todo: la retirada a la posición M provoca un impulso, llamado de *resto*, sobre la línea de control del siguiente flip-flop. Esta clase de impulso de resto pasa de C a B, y de B a A.

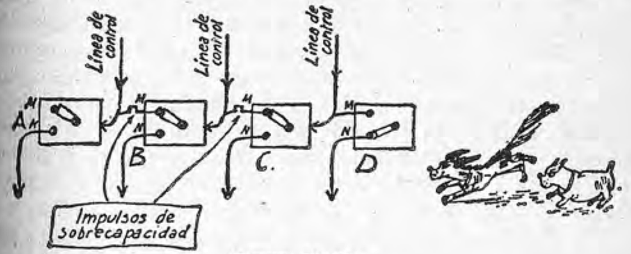


Figura 29 bis

Como consecuencia de la acción de estos dos impulsos, B y A vuelven a cambiar de posición, pasando de M a N, como se muestra en la figura núm. 30.

Y ya hemos terminado la suma. El resultado se pue-

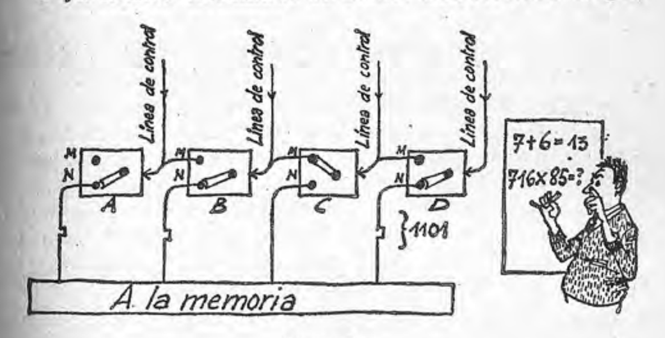


Figura 30

de leer de nuevo en las líneas de salida. Allí donde un flip-flop está en la posición N, se emitirá un impulso, de modo que el resultado será «1101». Si consultamos ahora nuestro código, veremos que corresponde al número 13, y no creemos que haya forma mejor de sumar los números 7 y 6.

Ahora ya podemos sumar según el sistema binario, pero ¿y multiplicar?

No se multiplica. Nos limitamos a sumar o, para expresarlo de otra forma, en lugar de multiplicar 716 por 85, sumamos ochenta y cinco veces el número 716. Este procedimiento se puede simplificar algo mediante la aplicación de ciertas reglas matemáticas. Así, por ejemplo, se suma ocho veces el número 716, y a este resultado parcial (que es 5.728) se le añade un cero (obteniendo así 57.280), y se le suma otras cinco veces el número 716. El resultado es el mismo que si sumáramos ochenta y cinco veces la cifra 716. Lo que ocurre es que de este modo lo hacemos con mayor rapidez.

¿Y cómo se resta? Podemos intentarlo. Restemos cuatro de seis. En números codificados, eso sería:

```
  0110
— 0100
──────
= 0010
```

Según nuestro código, el «0010» es igual al 2. Por lo tanto, la operación es correcta. Podemos restar.

Puede que nosotros sí, pero los flip-flops no. Para poder restar un número tienen que realizar una pequeña argucia, que consiste en sumarle su *complemento.* Entendemos por complemento un número opuesto a otro. En el caso de las cifras binarias, el complemento de «0» es «1», y el de «1» es «0». Así pues, el complemento de la cifra 4, codificada «0100», sería «1011». ¡Sumémoslo ahora al 6, o sea al «0110»!:

```
   0110
+  1011
   1111
───────
= 10001
```

Volvemos a encontrarnos con algo anormal. Una suma de cinco bits en un código de cuatro. ¡No puede

ser! Tiene que haber algún error. Intentemos hacer la misma operación en un código de 35 canales. La suma sería así:

```
   0000000 0000000 0000000 0000000 0000110
+  1111111 1111111 1111111 1111111 1111011
------------------------------------------
= 1 0000000 0000000 0000000 0000000 0000001
```

Pero también en esta ocasión nos encontramos con un bit de más, porque ahora tiene 36. ¿Qué ha ocurrido?

Esto no es más que aritmética binaria. Cuando se suma el complemento siempre aparece un bit de más. Pero dicho bit queda eliminado con cierta facilidad al pasar el «1» que ha quedado delante de todos, al lugar ocupado por el último bit, sumándolo a él:

```
 1 0000000 0000000 0000000 0000000 0000001
+                                        1
------------------------------------------
=  0000000 0000000 0000000 0000000 0000010
```

O, lo que es lo mismo, en nuestro código de cuatro canales, más cómodo:

```
   10001
+      1
--------
=   0010
```

En ambos casos, los resultados de 6 menos 4 son 2, y puede usted comprobarlo tranquilamente con el código. Todo concuerda. A esta forma tan elegante de eliminar el bit que sobra se le llama en lenguaje técnico *marcha atrás de un uno.* Esta marcha atrás no representa la menor dificultad para la máquina, mientras ésta realiza sus cálculos. Sólo se necesita conectar una larga línea desde la posición M del primer flip-flop, hasta la línea de control del último. En nuestro código

de cuatro canales el establecimiento de dicha línea ofrecería el aspecto mostrado en la figura núm. 31.

El impulso que quiere avanzar cuando se procede a la suma de complementos, es enviado inmediatamente hacia atrás, para ser sumado allí automáticamente. Vea-

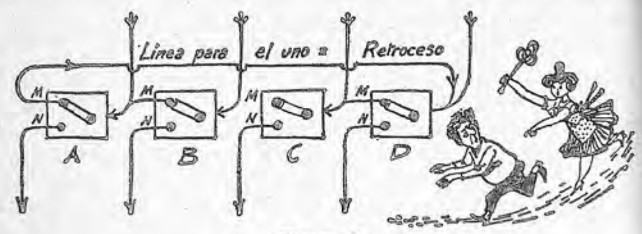


Figura 31

mos en la práctica cómo se aplica el ejemplo de «6 menos 4» a nuestros flip-flops. El 6, codificado como «0110», ya estaba aquí, y había cambiado la posición de dos de los cuatro flip-flops: el B y el C.

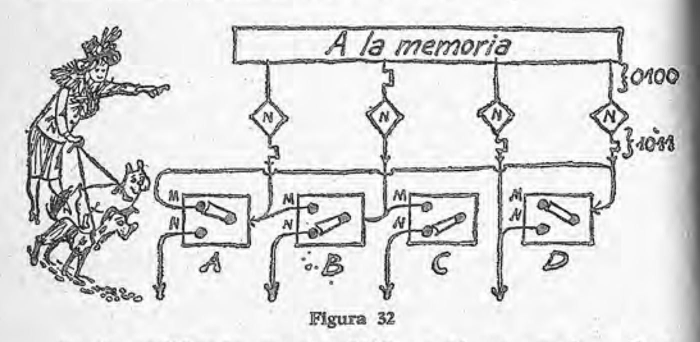


Figura 32

El 4, codificado como «0100», está en camino. Pero así no lo podemos utilizar. Para ello tiene que ser convertido en su complemento, o sea en «1011». Para conseguirlo, hemos situado un miembro negador en cada una de las líneas de control. Obedientemente, A, C y D se someten a la sucesión de impulsos «1011» y cambian de posición, como se puede ver al comparar las figuras núms. 32 y 33.

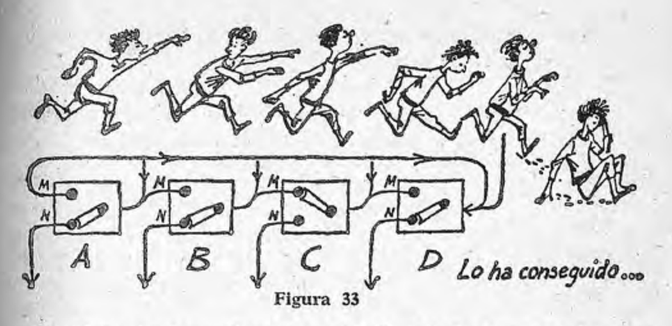


Figura 33

Y ahora ocurre algo que usted podrá comprender mejor observando la figura núm. 34: el flip-flop C, que ha retrocedido a la posición M, emite un impulso de

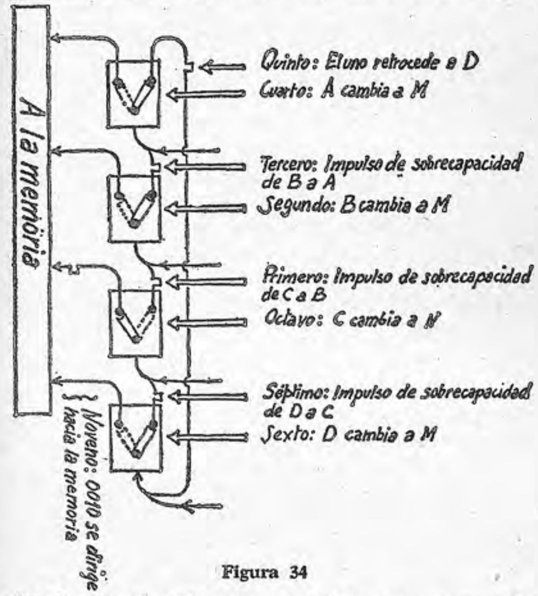


Figura 34

resto, haciendo cambiar de posición a su compañero B. En B también se emite un impulso de resto, que actúa sobre A, haciéndole colocarse en la posición M, para

emitir desde allí un nuevo impulso de resto. Este último impulso es lo que hemos designado como marcha atrás de un uno y en consecuencia pasa a D, haciéndole cambiar, también a la posición M. El nuevo impulso de resto que se produce en D pasa a C, cambiando su posición a N (¡afortunadamente para nosotros!). Con ello termina la reacción en cadena y el resultado, «0010», puede fluir tranquilamente hacia la memoria. Como muy bien puede usted comprobar por el código, «0010» es igual a 2, lo que demuestra que hemos resuelto de forma satisfactoria nuestra tarea. Estamos seguros de que se alegra tanto como nosotros al comprobar lo bien que han hecho su trabajo los cuatro flip-flops. Es asombroso, lo complicado que puede llegar a ser restar cuatro de seis, cuando se trata de hacerlo electrónicamente.

Y ahora, querrá usted saber cómo se divide con máquinas calculadoras binarias. Pero en este caso, va demasiado lejos, porque la multiplicación ya es muy difícil para ellas, y la simple resta les plantea algunas dificultades. Entonces, ¿cómo se divide? Muy sencillo, lo hacen como las calculadoras que utilizan matrices de adición, restando hasta que no quede ninguna cantidad que sustraer, o sea hasta que ya no se puede realizar ningún proceso de marcha atrás de un uno (13).

Seguramente, se habrá dado cuenta de que con el cálculo binario se necesitan menos memorias que con el cálculo por coordinación. Pero en ningún caso se puede calcular electrónicamente sin la existencia de las memorias. Ahora lo verá en el capítulo siguiente.

5

TODA MEMORIA ES MAGNETICA

Acrobacia memorística en cintas, tambores y núcleos

¿Ha notado usted alguna vez la estrecha relación que existe entre pensamiento y memoria? Es evidente que lo uno no es posible sin lo otro, como es inconcebible la actividad mental sin la existencia de las células de la memoria.

Esto no es sólo aplicable a las personas, sino también a las máquinas.

Recordará usted las tareas de cálculo que hemos resuelto en el capítulo anterior. Las cifras eran memorizadas antes de ser sumadas. Los resultados parciales eran conservados en las memorias, y el resultado final era igualmente memorizado, antes de aparecer ante nosotros como tal.

Estos lugares de almacenamiento de datos representan la memoria de la calculadora electrónica. Sin su existencia no se puede calcular electrónicamente, y mucho menos resolver tareas mentales —de las que hablaremos más adelante—. Las memorias tienen que almacenar resultados de cálculo y fórmulas, columnas de cifras y cambios de divisas, índices de descuento, funciones de ángulos, reglas gramaticales latinas, y todas las cuentas bancarias, desde Aarón hasta Zworykin. Cuantas más posibilidades de memorización tenga una calculadora —cuanto mayor sea su memoria—, tanto

más numerosas y complicadas serán las tareas que podrá resolver. Y, naturalmente, tanto más caras serán.

Al contrario de lo que ocurre con la memoria humana, cuya investigación no siempre es posible (y los datos que se obtienen de ella no siempre son dignos de confianza), las memorias de una computadora se pueden dividir en departamentos perfectamente delimitados. Existen, por ejemplo, *memorias de salida y de entrada,* que absorben las cifras con las que se ha de calcular, y se anotan los resultados, antes de que éstos sean mecanografiados sobre una hoja de papel por las impresoras rápidas o los teletipos.

Existen también las memorias intermedias o *registros,* que se encargan de conservar los resultados parciales que necesita la máquina durante el transcurso de otras operaciones de cálculo. Cuando, por ejemplo, se está sumando, absorben las sumas parciales y las devuelven rápidamente a la matriz de adición —junto con la siguiente cifra que debe ser sumada—. También memorizan los valores de las unidades, decenas y centenas, mientras la matriz de adición calcula de guarismo en guarismo.

Para el cálculo binario no es indispensable el registro. Los flip-flops son capaces de conservar los resultados parciales de las sumas, gracias a su posición, que indica el «0» o el «1». Y, sin embargo, hasta en tales casos se utiliza.

Las memorias intermedias son llamadas *memorias breves* o *memorias de gran velocidad,* porque sólo tienen que conservar sus cifras o signos durante breves momentos, que a menudo son únicamente fracciones de segundo. Su tarea consiste en absorber y emitir las informaciones con la misma rapidez, pues su velocidad de trabajo debe adaptarse a la del mecanismo calculador. Podemos decirle que este registro es uno de los elementos más caros que existen en las calculadoras, y cuando una computadora dispone de 16 memorias de gran velocidad —lo que no es nada raro—, este departamento de memoria electrónica cuesta una verdadera fortuna.

Por otro lado, también se habla de *memorias de trabajo.* Se trata en este caso de una expresión bas-

tante vaga que puede significar mucho o muy poco, pero que da a entender lo correcto, pues la memoria de trabajo no puede ser definida con mayor exactitud. Estas memorias se anotan todo aquello que no compite ni a las de entrada y salida, ni al registro, y este campo suele ser el más amplio de todos. Las computadoras comerciales, por ejemplo, anotan en ellas las escalas de descuentos, los índices de cambio, las tablas de impuestos y los salarios; las científicas, sus fórmulas, números comparativos y funciones matemáticas.

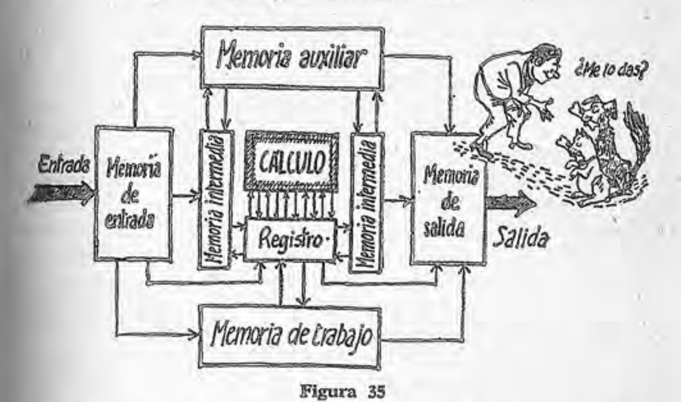


Figura 35

Sin embargo, la mayor cantidad de información —las cuentas corrientes de los bancos o de los grandes almacenes, todas las tablas de tipo científico, el léxico de las máquinas de traducir, etc.— se conserva en las llamadas *memorias auxiliares*, que son como la gran biblioteca, el archivo y, a veces, también el gran almacén de las calculadoras electrónicas.

Podemos intentar hacer un dibujo que nos muestre cómo se relacionan entre sí cada una de las memorias, y éstas a su vez con el mecanismo calculador. Lo puede ver usted en la figura núm. 35.

Pero sólo debemos considerar este dibujo como un esquema, como una posibilidad de división del trabajo dentro de la memoria electrónica. Le decimos esto porque es poco frecuente que cada una de las memorias

se encuentre dentro de la calculadora electrónica tan claramente separada de las demás. Ocurre a menudo que las memorias de entrada, salida y trabajo, forman una sola unidad, como también es frecuente la unión entre la memoria auxiliar y la de trabajo. En definitiva, nuestro esquema sólo es un modelo teórico, pues las cosas se desarrollan en la práctica de una forma mucho menos clara.

Entre otras razones, porque existe toda una serie de medidas de memorizar informaciones electrónicas, y los mejores métodos son tan caros que se reservan para las partes más importantes de la memoria de la calculadora. Las posibilidades más económicas de memorización..., bueno, pensemos de nuevo en nuestras antiguas conocidas: las cintas perforadas. Trescientos metros de cinta, en la que se han taladrado señales, representan una memoria extraordinaria y, además, barata. Pero las cintas perforadas no son lo bastante rápidas como para tenerlas en cuenta.

Las cintas magnéticas lo son mucho más, pero también pertenecen a una categoría que podríamos llamar de peatones. De todos modos, son de un gran valor como memorias auxiliares, ya que su capacidad mental es prácticamente ilimitada. Aquí ya no se trata de una cuestión de cien metros de cinta más o menos. Las cintas magnéticas memorizan la contabilidad de las mayores empresas, tablas de logaritmos de muchas cifras, y son como voluminosas bibliotecas llenas de información científica. Pero su *tiempo de acceso* es bastante largo.

Y encontramos aquí un nuevo concepto: tiempo de acceso. Se entiende por ello el período de tiempo que necesita la calculadora electrónica para encontrar en una memoria una información determinada y pasarla. Supongamos que utilizamos una cinta magnética como memoria intermedia, para realizar una amplia y complicada tarea de cálculo. En un momento, la cinta puede retener, sucesivamente, unos trescientos resultados parciales. Más tarde, la calculadora necesita uno de esos resultados parciales para poder continuar sus cálculos. Primero necesita el número 17; después el 238; más tarde el tercero; finalmente, el 285...

Aunque el aparato de lectura de la cinta fuera de un lado a otro, como un camarero en un restaurante abarrotado, el tiempo que tarda para encontrar el resultado parcial requerido y dirigirlo hacia el lugar conveniente, o sea el tiempo de acceso, es a veces de varios segundos. Y el mecanismo calculador, que mide su trabajo en fragmentos de segundo, no puede esperar tanto.

Los *tambores magnéticos* disponen de un tiempo de acceso mucho más corto que las cintas magnéticas. Puede usted imaginarlo como un tambor de música sudamericano, largo y delgado, o uno de esos tubos de cartón que se emplean para enviar mapas y dibujos por correo: quince centímetros de diámetro y sus buenos cuarenta centímetros de altura, cuya parte exterior está dotada del mismo material que la cinta magnética. Cada uno de los puntos donde se puede magnetizar información está muy cerca del siguiente. En total hay de 500 a 1.000 puntos paralelos de este tipo, y cada uno de ellos tiene su propio aparato magnetizador, de lectura, y extinguidor, con el que se pueden hacer desaparecer los impulsos innecesarios.

Este tipo de tubo es colocado en una pequeña caja, a la que se añade un motor, de modo que el tambor o tubo pueda girar a 50 revoluciones por segundo. Si dividimos el segundo en cincuenta unidades iguales, resultaría que cada punto magnetizado puede encontrarse ante su *cabeza de lectura* (el especialista dice simplemente cabeza) una vez por cada una de esas unidades de tiempo. Así pues, el tiempo de acceso es de 20 milisegundos como máximo, y de ningún tiempo en absoluto en los casos más favorables, por lo que se habla entonces de un tiempo de acceso medio de 10 milisegundos. No es que esté mal, pero aún resulta demasiado lento para el mecanismo calculador. De ahí que los tambores magnéticos no pasaran de ser unas buenas memorias auxiliares. En la actualidad, ya están considerados como instrumentos de la Edad de Piedra de las calculadoras. En la actualidad...

No. Para ser justos debemos decir que antes cumplían otra misión muy importante, además de realizar su trabajo como memorizadores: marcaban el tiempo de fase, que dirige todos los procesos de la calculadora,

el cual era emitido por una cabeza de lectura situada en la base cilíndrica del tambor. El que transcurría entre dos fases era de una millonésima a diez millonésimas de segundo. Actualmente, en que se piensa en el tambor magnético desde el punto de vista histórico, este tipo de tareas es realizado por un *generador de fase* especial, que, en el fondo, hace lo mismo que realizaba antes el punto magnetizado en la base cilíndrica del tambor: enviar un impulso de fase cada par de millonésimas de segundo.

Los tambores magnéticos fueron desplazados por la *memoria de discos*. ¿Sabe usted lo que es un aparato automático de música? Se trata de uno de esos endiablados ingenios que suelen estar iluminados con luz anaranjada, y que, situados en bares y lugares de diversión, esperan a que alguien eche unas monedas para derramar un verdadero torrente musical sobre los clientes, aterrándolos con su estruendo. Se pulsan unos botones que contienen números y letras, y la reserva de discos gira, de acuerdo con esta orden, hasta que el brazo del tocadiscos encuentra el elegido.

Pues bien, las memorias de discos funcionan del mismo modo. Sin embargo, en este caso los discos están recubiertos de una capa magnética que contiene las informaciones. Un brazo articulado dotado de una cabeza de lectura busca los discos correctos, se introduce entre ellos y recoge las informaciones deseadas. Naturalmente, esto se realiza a una velocidad de vértigo, por lo que tampoco en este aspecto podemos comparar este tipo de disco con los de música normal.

Algunas empresas conservan en apenas una docena de discos toda su contabilidad, o las existencias de todas sus piezas de repuesto. Los puede llevar uno debajo del brazo, y marcharse a pasear con ellos. Y, si al hacerlo, se pierden, la empresa está perdida también.

Pero las cincuenta milésimas de segundo de tiempo de acceso medio de las memorias de disco son por lo menos mil veces demasiado lentas para realizar tareas de cálculo. Las memorias que quieran mantener el mismo ritmo de trabajo que un mecanismo calculador rápido, necesitan tiempos de acceso no mayores a unas millonésimas de segundo. Y existen. Se trata de las

llamadas *memorias de núcleos*, cuyo tiempo de acceso es aproximadamente de una millonésima de segundo. Por otra parte, su construcción resulta tan complicada que, teniendo la misma capacidad de memorización que los discos, cuestan mucho más que éstos. Además, para explicar su funcionamiento se necesita un esfuerzo enorme. Desgraciadamente, nos vemos obligados a entrar de lleno en el campo técnico.

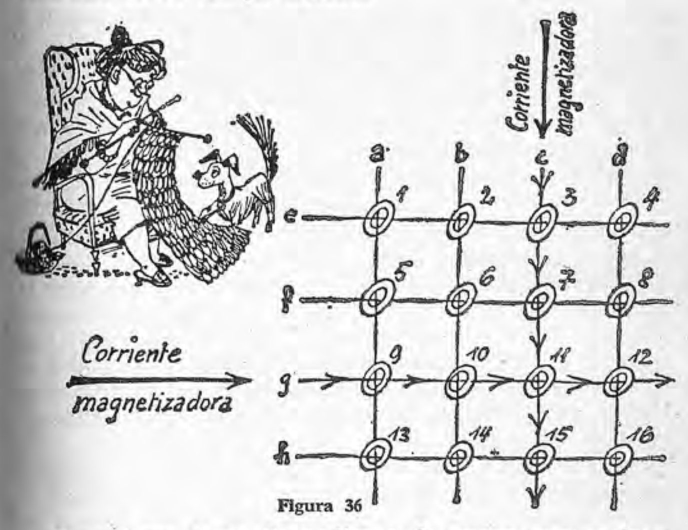


Figura 36

En primer lugar, le pedimos de nuevo que se imagine algo: anillos. Anillos pequeños, con un diámetro de uno a dos milímetros, hechos de óxido de hierro magnetizable. Se les puede tratar como a un fragmento de cinta magnética: se pueden magnetizar impulsos en ellos (aunque un solo impulso en cada anillo), que a su vez pueden ser leídos y extinguidos.

Para que estos anillos sean fácilmente visibles y accesibles, son engarzados en las intersecciones de unos hilos que se entrecruzan horizontal y verticalmente formando una especie de tejido o malla. En la figura número 36 hemos intentado representar un fragmento de uno de estos *programas de núcleos de ferritas*.

Los hilos no sólo sirven para sostener los anillos, sino también para conducir la corriente eléctrica, utilizada para magnetizar los pequeños fragmentos de hierro. Ya puede usted imaginar lo que ocurre: un anillo magnetizado significa un «1», y uno no magnetizado representa un «0». Por otra parte, los especialistas hablan de *núcleos de ferritas*, y no de anillos. Para ellos, el concepto deriva de los ya conocidos *núcleos magnéticos* (en los electromagnetos), sin haberse dado cuenta a tiempo de que en nuestro lenguaje común «anillo» y «núcleo» son dos cosas diferentes. Ahora no nos queda más remedio que seguir manteniendo esta falta de precisión y hablar de núcleos de ferritas, y de memorias de núcleos, compuestas por los anteriores.

Y ahora, permítanos magnetizar el núcleo de ferritas al que hemos dado el número 11 en nuestro dibujo, convirtiéndolo de un «0» en un «1». Se encuentra situado en la intersección de los hilos c y g. Y al hacerlo nos enfrentamos al primer problema. Si enviamos la corriente magnetizadora a través del hilo c, conseguiremos magnetizar el núcleo 11, pero también los núcleos 3, 7 y 15, que dependen igualmente del hilo c. Lo mismo nos ocurrirá si enviamos la corriente por el hilo g: junto con el núcleo 11 también quedarán magnetizados los núcleos 9, 10 y 12.

Pero el astuto ingeniero electrónico resuelve el problema gracias a la técnica. Divide la corriente magnética y dirige una mitad por el hilo c, y la otra por el hilo g. Media corriente no afectará para nada a ningún núcleo. Pero cuando la corriente se complete en el núcleo 11, éste quedará magnetizado.

Afortunadamente, el proceso no tarda tanto tiempo en realizarse como el que hemos empleado para explicarlo.

Las matrices de núcleos de ferritas son utilizadas por grupos. Una computadora dispuesta para procesar cifras hasta el séptimo guarismo en un código de cinco canales, dispondrá en sus memorias de grupos compuestos por 35 matrices de núcleos de ferritas ordenadas paralelamente. Los impulsos de cada siete guarismos

memorizados (hay 7 por 5, o sea 35 impulsos), están repartidos en todas las matrices. Si el número tiene menos de siete guarismos, hay núcleos de ferritas que no contienen nada. El bit de los siete guarismos de un número será encontrado en el mismo sitio de cada matriz, o sea, 35 veces en cada caso en el núcleo de ferritas correspondiente al número 11.

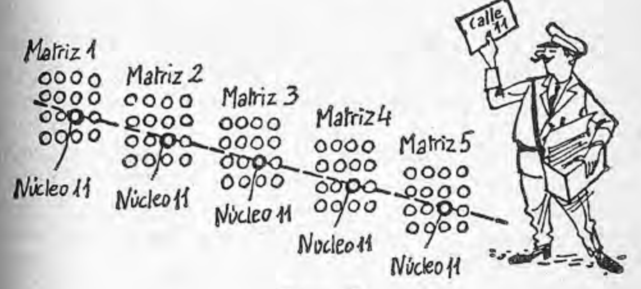


Figura 37

No se avergüence de tener que volver a leer el último párrafo. El tema es bastante complicado. Para simplificarlo un poco, vamos a suponer que disponemos de una calculadora electrónica que sólo memoriza números de una cifra o guarismo, haciéndolo en un código de cinco canales. De este modo tendremos que trabajar únicamente con cinco matrices de núcleos de ferritas paralelos, y no con 35. Además, también es preferible así para nuestro dibujante.

¿Qué dijimos antes? Los impulsos de un número siempre están en un sitio fijo de cada matriz, memorizados en el mismo núcleo de ferritas. En nuestro ejemplo, el núcleo de ferritas 11 se encontraría tal y como se muestra en la figura núm. 37.

Se dice que el número 11 es la *dirección* del número codificado mantenido allí. La palabra dirección procede del servicio de correos, y tiene el mismo significado. El cálculo electrónico es irrealizable sin la existencia de direcciones. La computadora debe saber en qué lugar

tiene que memorizar sus números, y dónde los puede encontrar más tarde, cuando los necesite de nuevo. (Así, por ejemplo, envía sucesivamente sus resultados parciales a la «dirección 1», «dirección 2», etc., y más tarde, cuando necesita el resultado parcial de la «dirección 11», sólo tiene que pedirlo y dispone inmediatamente del número correcto y puede continuar sus cálculos.)

Debemos hacer aquí una pequeña pausa para aclarar algo. Las matrices de memoria tienen en realidad mucha más amplitud de la que expresamos en el dibujo. Con los 16 núcleos que hemos concedido a cada matriz no se pueden hacer muchas cosas. Una de 10 por 15 centímetros de dimensión (o, en las calculadoras más modernas, de 5 por 5), contiene unos 1.000 núcleos. Una *torre* de 35 matrices, que es lo que se necesita para hacer cálculos con números de siete guarismos, comprende 35.000 anillos engarzados a mano. Aquí se pueden memorizar 1.000 números, o sea que puede dar indicaciones sobre 1.000 direcciones. Por eso, nos vemos obligados a hacer una corrección: la calculadora nunca pedirá el número de la dirección 11, sino que dará siempre un número de cuatro cifras, el 4.711, por ejemplo. En este caso, el 4 indicará el número de la torre, y las tres cifras posteriores indicarán el núcleo 711, que se encuentra en cada una de las 35 matrices de la torre 4.

Y ahora puede usted olvidarse de lo que acabamos de decir. Volvemos de nuevo a nuestra figura núm. 37, que contiene 5 matrices de 16 núcleos cada una. Hasta esta figura tan simplificada nos proporciona bastante materia sobre la que reflexionar. Por ejemplo: ¿cómo se consigue hacer llegar los impulsos de un número codificado al interior de una matriz y, lo que es aún más complicado, cómo se extraen dichos impulsos de ella?

La magnetizacción hacia el interior de la matriz no representa un gran problema. Ya hemos hablado antes de ello: dos medios impulsos dirigidos por los hilos

c y g. Si tenemos que llevar el número codificado «10010» a la dirección 11, en los núcleos de ferritas dibujados en nuestra figura núm. 37, conectamos los hilos c y g de cada una de las cinco matrices a las cinco líneas por las que llega el impulso «10010», tal y como muestra la figura núm. 38.

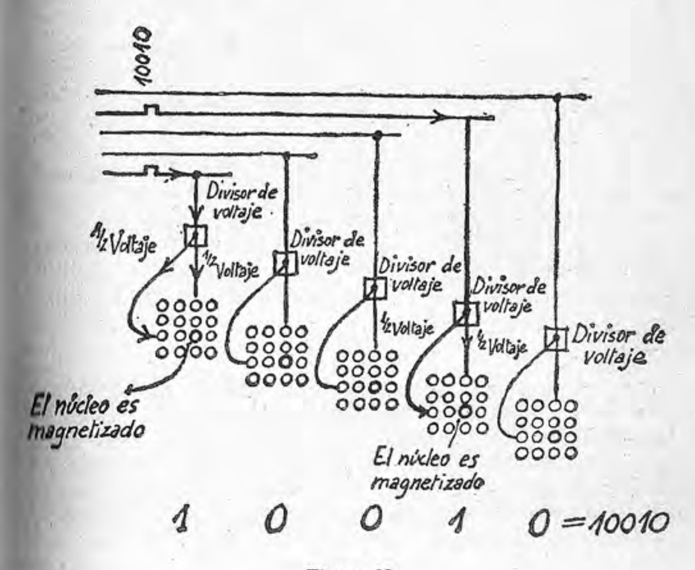


Figura 38

Sólo la primera y la cuarta matriz son alcanzadas por un impulso completo que magnetiza los núcleos del número 11, cambiándolos del «0» al «1». Los núcleos del número 11 correspondientes a las otras tres matrices, permanecen en el «0». El «10010» ha llegado bien a la memoria.

¿Pero cómo se le puede sacar de ella, cuando lo necesite el mecanismo calculador? Para eso necesitamos otro filamento del que no habíamos hablado aún. Se

trata del *hilo de lectura,* que es un largo alambre que da varias vueltas por la matriz, atravesándola diagonalmente y pasando por cada núcleo anular. Lo verá usted en la figura núm. 39.

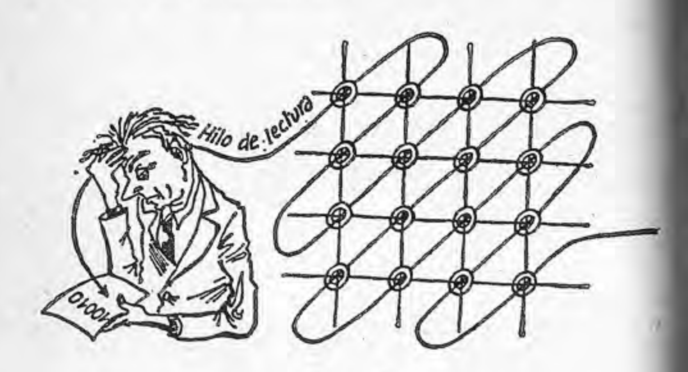


Figura 39

El mecanismo calculador que quiere saber lo que hay en la dirección 11 hace algo curioso: envía un medio impulso *negativo* a las líneas c y g de todas las matrices. De esta forma, los cinco núcleos de ferritas que tienen el número 11 reciben dos medios impulsos negativos, o sea un impulso negativo completo.

Las consecuencias son catastróficas, al menos en lo que concierne a los núcleos magnetizados en «1». Se produce entonces un proceso de desmagnetización, de modo que los núcleos pasan del «1» al «0».

Los otros tres núcleos, desmagnetizados desde el principio, no resultan afectados en absoluto por el impulso negativo y, en consecuencia, se mantienen en la posición «0».

¿Qué ha ocurrido entonces? Pues que todos los núcleos de la dirección 11 se encuentran de nuevo en la posición «0». El «10010», magnetizado anteriormente con tanta elegancia, ha vuelto a desaparecer con la misma elegancia. ¿Era éste el propósito?

No. Pero no se puede hacer de otro modo. De hecho,

ya se ha producido la gran argucia del hilo de lectura. Ponga usted mucha atención: al desmagnetizarse, los núcleos magnetizados han inducido un impulso en el hilo lector. La energía eléctrica que había en los anillos magnetizados tiene que ir hacia alguna parte, cuando es desplazada por el impulso negativo. Así pues, fluye al hilo de lectura y entonces aparece al final de él en forma de un impulso normal, correcto y positivo. En efecto, de los cinco hilos de lectura surge un «10010» impecable. Y entonces, basta con dirigirlo hacia el mecanismo calculador, como muesta la figura núm. 40.

¿Lo ha comprendido? ¡El principio es genial! Pero quizá piense usted que todo eso está muy bien, pero que con ello ha desaparecido la información de la memoria; que todos los núcleos de ferritas que participaron en la operación se encuentran en la posición «0». Que no hay nada en ellos.

Tiene usted razón. Pero es un riesgo que debemos correr. Ya mientras los impulsos se dirigen hacia el mecanismo calculador, a través de los hilos lectores, una pequeña parte de su energía se bifurca, es refor-

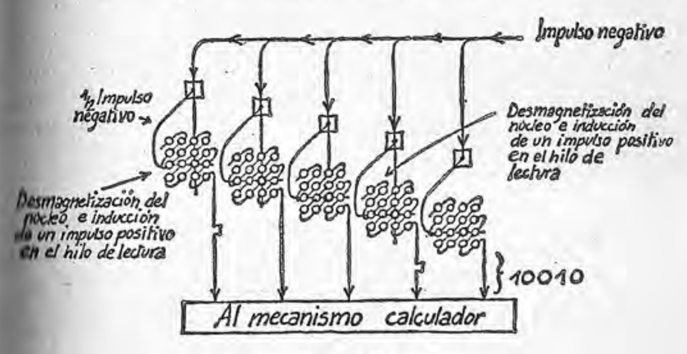


Figura 40

zada por medio de transistores y vuelve a ser magnetizada en la antigua dirección. El espacio de tiempo durante el cual todos los núcleos están en la posición «0», es de una millonésima de segundo, no más.

Las memorias de núcleos tienen tantas ventajas —debido sobre todo a su gran rapidez—, que en la actualidad son utilizadas como memorias de trabajo, e incluso como memorias auxiliares, realizando tareas que hasta hace pocos años estaban reservadas exclusivamente a los tambores magnéticos, mucho más baratos. Hasta las pequeñas computadoras actuales tienen 16 k memorias de núcleos.

Esta «k» es un número utilizado en el cálculo electrónico. Significa «por 1.024» (los matemáticos saben que es igual a 2^{10}, los que no lo son piensan que «k» significa kilo, o sea «mil», lo que, por otra parte, no está muy lejos del 1.024).

Esto quiere decir que las computadoras pequeñas tienen alrededor de 16.000 memorias de núcleos, las de tipo medio 128 k, y las grandes computadoras 512 k (lo que para los matemáticos vuelve a significar 2^{14}, 2^{17} y 2^{19}. En Alemania, por ejemplo, las computadoras tienen una media de 64 k memorias de núcleos, es decir 2^{16}).

No podemos evitar el hecho de que estas máquinas resulten extraordinariamente caras, debido precisamente a los numerosos núcleos de ferritas que contienen. Siempre se debe intentar encontrar la mayor cantidad posible de combinaciones, con el fin de utilizar las matrices, que en una ocasión determinada actúan como memorias de entrada y salida, como memorias intermedias y de trabajo, y de vez en cuando como memorias auxiliares, ajustándose siempre a las tareas que se tienen que solucionar.

Pero aún existen memorias mucho más caras que las de los núcleos de ferritas. Se trata de nuestros viejos conocidos, los flip-flops. Forzosamente tienen que ser más caros, porque para memorizar cada bit no sólo necesitan un anillo engarzado, sino un conmutador electrónico completo, formado como mínimo por dos transistores. En compensación, los flip-flops tienen la gran ventaja de no necesitar prácticamente tiempo de acceso. Por medio de los impulsos cambian del «0» al «1», y viceversa; éste es el proceso de memorización. Cuando se necesita los datos que acumularon, vuelven a entregar los impulsos memorizados con la misma facilidad.

En este caso no se experimenta ninguna pérdida de magnetismo, no hay ningún nuevo proceso de magnetización, como tampoco existe ningún hilo de lectura. Basta enviar un *impulso de pregunta* a través del flip-flop. Si éste se encuentra en la posición «0», el impulso de pregunta se detiene. Si el flip-flop está en la posición «1», el impulso de pregunta lo atraviesa y sigue su camino, de modo que el tiempo de acceso es suficiente a un transistor para conectar con otro.

Debido a este tiempo de acceso tan extraordinariamente corto, los flip-flops son utilizados para el cálculo con matrices coordinadoras, actuando en el registro, el más importante departamento de memoria de una calculadora.

Las memorias no pueden existir sin direcciones. Los discos magnéticos, por ejemplo, tienen una superficie dividida en pequeñísimos sectores, y cada uno de ellos representa una dirección. En las cintas perforadas, las direcciones son taladradas junto con las cifras y datos, mientras que en las cintas magnéticas son magnetizadas. Cuando una cinta de este tipo es utilizada únicamente como memoria auxiliar, no se necesita dar una dirección propia a cada número. En la mayor parte de los casos, grupos enteros de números se hallan unificados en una sola dirección —son números que deben ser sumados, colecciones de datos técnicos, o el saldo de una cuenta bancaria—. A esto se le llama un *bloque*. Como el mecanismo calculador no quiere trabajar con la lenta cinta magnética, todos los datos contenidos en ella tienen que ser *realmacenados* en los núcleos anulares, antes de que comiencen las operaciones de cálculo. Para ello, la máquina siempre recoge todo el bloque de números de la cinta magnética y envía los números, uno detrás de otro, a las direcciones de la memoria de núcleos. El saldo de la cuenta del señor Pérez, anotado en la cinta en el quinto puesto del bloque, se encuentra ahora en la dirección 1.005 de la memoria de núcleos. El señor Fernández, que antes pudo haber encontrado su cuenta en el número treinta y siete de la dirección colectiva, la podrá localizar ahora en la dirección específica número 1.037.

La máquina calcula con esta dirección específica.

Sistema de memoria	Tiras magnéticas	Cintas magnéticas	Discos magnéticos	Tambor magnético	Memoria de núcleos	Flip-flop
Tiempo de acceso	0,5 segundos	0,10 segundos	0,05 segundos	10 milisegundos	1 microsegundo	10 nanosegundos
Volumen bit	muy grande	muy grande	grande	medio	pequeño	muy pequeño
Capacidad media	2.000 millones bits	100 millones bits	50 millones bits	10 millones bits	2 millones bits	5.000 bits
Técnica	•Intercambiable •Bobinas •En serie •Trabajos •Memoria auxiliar	•Intercambiable •Casettes •Acceso libre (directo) a todos los datos •Memoria auxiliar	•Intercambiable •Colección de discos •Acceso directo •Memoria auxiliar	•Construcción fija •Acceso directo •Memoria auxiliar	•Construcción fija •Acceso directo •Memoria principal	•Construcción fija •Acceso directo •Memoria interna
Utilización	•Datos muy amplios	•Datos •Tablas •Sistemas de programa	•Datos •Listas •Tablas •Sistemas de programa •Sistemas empresariales	•Datos •Listas •Tablas •Sistemas de programa •Sistemas empresariales	•Programas •Cuentas intermedias •Para entradas y salidas	•Datos necesitados en breve plazo •Registro •Resultados parciales

Una vez realizada su tarea y cambiadas las cuentas, todos los números de la citada dirección específica son copiados en la cinta magnética, uno detrás de otro, como dirección común, en forma de bloque. Los números esperan allí hasta primeros del mes siguiente.

Para poder establecer comparaciones en cuanto a rendimiento y precios, quizá le interese a usted tener a mano un cuadro comparativo en el que se hayan recopilado todas las clases de memorias que utilizan actualmente las calculadoras electrónicas. Lo encontrará usted en la página siguiente.

Ahora, sólo tenemos que explicarle estos dos conceptos: *volumen bit* y *capacidad media.* El volumen bit es el número de bits que puede contener una determinada memoria, en un espacio de un centímetro cúbico. Las memorias con un volumen bit pequeño aumentan las dimensiones de una computadora. La capacidad media indica el tamaño de las memorias dentro de cada una de las categorías a que éstas pertenecen (14).

Y ahora querrá usted saber cómo se las arregla una computadora electrónica para realizar sus cálculos correctamente entre todo ese bosque de memorias, direcciones y posibilidades de cálculo, sin sufrir por ello ningún colapso nervioso. Este tema será tratado en el capítulo siguiente, el cual, dicho sea de paso, resulta casi aflictivo porque, como veremos, no resulta fácil para la calculadora encontrar el camino a seguir.

6

PROGRAMANDO CON MUSICA

Formación de programas y subprogramas

Durante el siglo XVIII aparecieron muchas cosas curiosas, novedades, juguetes técnicos, etc., y nacieron Goya, Estados Unidos y la caja de música.

¿Alguna vez ha observado de cerca una caja de música? Hay en ella un cilindro, que parece una representación moderna de un erizo, del que salen numerosos pivotes de acero. Hay también otro, dentado de acero, cuyos dientes arrancan sonidos de campanillas al rozar los pivotes. Lo podrá observar en la figura número 41. Si se tira de un pequeño cordón, lo que sucede al abrir la tapa, se pone en movimiento un mecanismo de relojería, el cilindro empieza a girar, los dientes rozan los pivotes, y durante sesenta agradables segundos se escucha una melodía. Las notas han estado saliendo de las cajas de música durante doscientos años, con una precisión invariable. Es un buen rendimiento, aunque el programa musical que ofrecen resulte algo aburrido.

Acaba de aparecer una palabra decisiva: *programa.* A menos que sea usted un profesional del cálculo electrónico, es muy posible que no conozca toda la importancia que tiene esta palabra en los círculos electrónicos. Bueno, en ellos no se piensa exactamente en un programa de música, sino en la sucesión de procesos individuales de trabajo, ya que el de una calculadora

electrónica no está compuesto por una serie de tonos musicales, sino por una serie de útiles operaciones de cálculo que, si todo sale bien, se efectúan con la misma precisión que el programa de una caja de música.

Debemos admitir que, desgraciadamente, la calculadora electrónica es terriblemente tonta. A pesar de todo lo que dicen los periódicos sobre ella, no es más lista

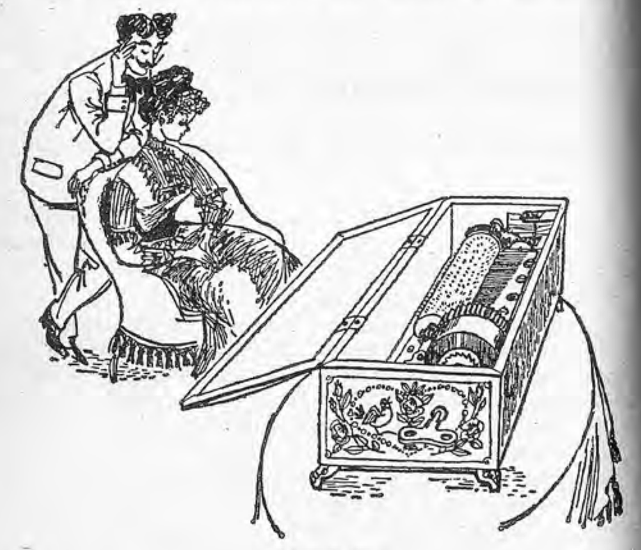


Figura 41

que un aspirador o que una máquina de afeitar. La expresión *cerebro* electrónico no es más que una muestra de lo mucho que valora el hombre su propio aparato mental.

Las calculadoras electrónicas no tienen pensamientos propios. Al menos por ahora. Se están realizando esfuerzos para dotarlas de fantasía, iniciativa, poder creador y todas esas cosas maravillosas que han capacitado al hombre para volar a la Luna o fabricar cañerías por las que no rezume el agua. En capítulos posteriores aún

hablaremos de los intentos de hacer pensar a las calculadoras electrónicas.

Pero, por el momento, cuando se desea hacer un cálculo, y se utiliza para ello una computadora, no se la puede dejar sola. No se le puede ordenar, por ejemplo: calcula el interés compuesto que se debe pagar en 35 días a una cuenta de ahorro de 11.340 pesetas, teniendo en cuenta los gastos que aplica el banco local. Esto lo puede hacer cualquier empleado de banca, pero no una calculadora electrónica, a pesar de que puede haber costado sesenta millones de pesetas. O, mejor dicho, no lo puede realizar a menos que se le haya explicado con toda exactitud cómo se hace el cálculo. Para ello se le tiene que ordenar: coge el interés, divídelo por el número de días de un año, y multiplica el resultado por 35 días, etc. Pero una vez que se le facilita toda la información necesaria para el cálculo deseado se le ordena trabajar en el problema, y éste queda resuelto con mucha mayor rapidez que si lo hiciera un empleado de banca, utilizando papel y lápiz.

Las computadoras electrónicas son idiotas. Pero idiotas con una capacidad especial: la de calcular con rapidez y exactitud. Todo lo que necesitan para ello es recibir información predigerida sobre todo el proceso de cálculo, paso a paso. El especialista llama programa a la sucesión de órdenes que conducen a la solución de una tarea de cálculo, desde el principio hasta el fin. Las personas que se ocupan de elaborar los programas, son los *programadores* (15).

Supongamos que el programador ha escrito un programa para realizar un cálculo de salarios. La computadora debe calcular las cintas de pago de los 2.000 empleados de una empresa. En cada caso particular, debe tomar como base el número de horas trabajadas, teniendo en cuenta el precio a que se paga la hora a cada uno de los empleados, los impuestos que se le han de deducir, y otros datos, imprimiendo el resultado final en una tarjeta.

Para hacer este trabajo, la máquina no debe perder tiempo. Tiene que buscar en su memoria la cantidad que cobra cada empleado por una hora de trabajo, multiplicarla por las horas que ha trabajado, memo-

rizar el número así obtenido, restarle la cifra de impuestos que le corresponda, etc. Una cifra debe ser memorizada en un lugar determinado, otra debe ser transportada a otro lugar, una tercera debe ser extraída de la memoria auxiliar para restarla de la primera. Lo



Figura 42

que queda es almacenado en una memoria intermedia para, una docena de operaciones más tarde, volver a ser enviada al mecanismo calculador y sumarla allí con otra cifra... La actividad de la calculadora es similar a la que existe en una oficina de correos durante las Navidades.

Pero ¿cómo se hacen funcionar las señales eléctricas? ¿Manualmente, como en la centralita de teléfonos de la figura núm. 42? Así se intentó hacer en la Edad de Piedra del cálculo electrónico. Todas las partes de que está compuesta la computadora —las memorias, cada uno de los departamentos del mecanismo calculador, las unidades de entrada y salida— estaban dotadas de clavijas y enchufes. Se cogían las clavijas, a las que iban unidos los hilos correspondientes, y se

enchufaban: la memoria de entrada se ponía en contacto con determinadas direcciones de la memoria intermedia; se enchufaba entonces un hilo que iba desde ésta hasta la matriz multiplicadora; ésta era enchufada a su vez con otra memoria de dirección, de la que salían otros hilos hacia la matriz de adición... El trabajo que tenía que realizar un buen programador hace veinte años era similar al de una telefonista a principios de este siglo (ver figura núm. 43), que se pasaba la mayor parte del tiempo enchufando clavijas para establecer comunicaciones.

En el caso del teléfono, las clavijas no tardaron en ser sustituidas por selectores automáticos. El trabajo de manejar clavijas en una centralita de teléfonos era agotador. ¿Qué podían hacer los matemáticos e inge-



Figura 43

nieros electrónicos para solucionar este mismo problema en las calculadoras electrónicas? Las conexiones de clavijas que ellos utilizaban no sólo eran mucho más complicadas, sino que ésta era una desventaja que tenían que aceptar, y lo que más les preocupaba era la

gran pérdida de tiempo. Si la telefonista tardaba veinte segundos en establecer una comunicación que podía durar tres o diez minutos, nadie pensaba que estaba despilfarrando el tiempo. Pero si un matemático se pasaba horas enteras para enchufar las clavijas necesarias para realizar un programa sencillo, que la calculadora solucionaba después con la velocidad del rayo, la desproporción de tiempo entre un proceso y otro era, a todas luces, preocupante.

Las comunicaciones internacionales por teletipo ya estaban parcialmente automatizadas, cuando las primeras calculadoras electrónicas aún se encontraban en la fase de los enchufes y las clavijas. Sólo fue una cuestión de tiempo, hasta que alguien inventó un *control automático de programa* para las computadoras. Al fin y al cabo, hasta la simple caja de música dispone, a través de sus cilindros, de un control automático de programa.

¿Podrían controlarse los programas de la computadora mediante cilindros de caja de música? Naturalmente. En los viejos y buenos tiempos iniciales del cálculo electrónico se intentó algo similar. Una caja de música que tuviera un repertorio relativamente pequeño sería suficiente para controlar un programa pequeño. El de cálculo de salarios del que hemos hablado antes contiene unas cincuenta órdenes. Para establecer las conexiones necesarias para transmitir una orden, en un código ($^2/_5$), se necesitarían 35 bits por término medio, incluyendo catorce «1» y veintiún «0». En consecuencia, el cilindro de la caja de música necesitaría, para dirigir el cálculo de los salarios, 14 por 50 —o sea 700— pivotes, y 21 por 50 —o sea 1.050— lugares sin pivotes. Esto parece mucho, pero no preocupará demasiado a ningún buen constructor de cajas de música. Para escuchar cualquier pieza pequeña se necesitan unos 600 pivotes y si la composición musical es muy detallada, dicho número puede aumentar a 1.000. El número de lugares sin pivotes es de cinco a diez veces mayor.

Cuando se trata de un programa sencillo se podría utilizar la caja de música como instrumento para formarlo. Pero, desgraciadamente, la mayor parte de los programas son mucho más amplios, y en muchos casos

están compuestos de varios millares de órdenes. Un sistema de cálculo de salarios, por ejemplo, tal y como se utiliza en la práctica, no tiene 50 órdenes, como hemos supuesto hasta ahora, sino unas 10.000. Quien quiera controlar un programa de este tipo mediante un cilindro de pivotes, también puede intentar construir una caja de música que toque la ópera *Lohengrin*, cuya

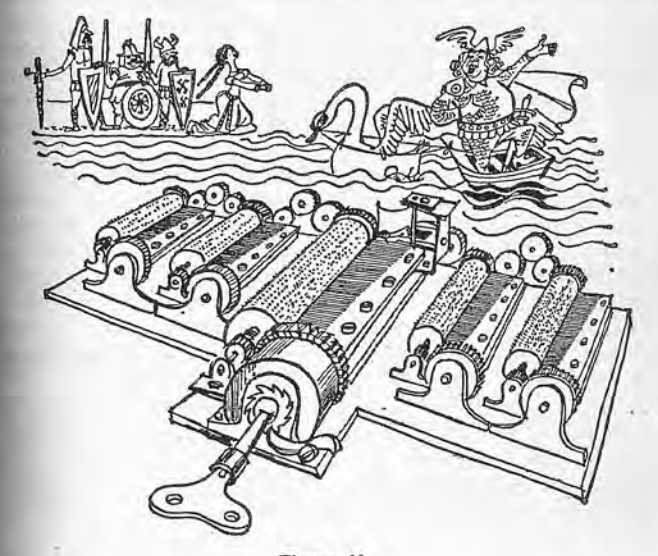


Figura 44

duración es de cuatro horas. En ambos casos, las condiciones esenciales serían las mismas: el cilindro de la caja de música tendría que ser construido de un tamaño similar al de un enorme tanque de gas.

Aunque la ópera *Lohengrin* nunca tendrá la suerte de poder ser tocada completa por una caja de música, nadie nos impide aceptar este caso desde el punto de vista teórico. Quizá fuera posible facilitarle el trabajo a la caja de música, añadiéndole subcajas auxiliares, como se observa perfectamente en la figura número 44,

cada una de las cuales podría tocar aquellas partes de la melodía que se repitieran con frecuencia. La caja principal tendría que estar dotada de pivotes especiales, colocados en los lugares adecuados, para poner en movimiento las subcajas en el momento preciso. Mientras uno de los subcilindros girase, el cilindro principal permanecería quieto, y una vez terminado el programa del subcilindro, un pivote adecuadamente instalado en él, volvería a poner en movimiento el cilindro principal. Es evidente que todo esto sería un poco complicado, pero un hábil constructor de cajas de música podría disminuir en un tercio el tamaño del cilindro principal necesario para tocar la ópera *Lohengrin* completa.

La idea de descargar un *programa principal* por medio de *subprogramas*, ya ha sido utilizada en el cálculo electrónico desde hace tiempo. En casi todos los procesos de cálculo de gran amplitud nos encontramos con algunas partes que han de ser repetidas hasta la saciedad. Este tipo de operaciones que se repiten una y otra vez, y que a menudo son grupos de diez, veinte o cien cálculos individuales y sucesivos, son confiadas a los subprogramas.

Una caja de música gigantesca, dotada de un gran cilindro y de otros muchos más pequeños, muy bien podría ser portadora de un programa principal y de varios subprogramas. Sin embargo, los fabricantes de calculadoras electrónicas rechazan la utilización de cajas de música, pues estos benditos mecanismos de la época de nuestras abuelas son demasiado lentos. Aun en el caso de que toquen una marcha rápida, los pivotes no se mueven con mayor rapidez que un caracol en plena carrera. Para adaptarse a la velocidad de cálculo de una computadora, los cilindros del programa tendrían que mover sus pivotes a 500 kilómetros por hora, y eso es algo imposible de conseguir.

Se han hecho experimentos con cintas perforadas; son las mismas que se utilizan para la inclusión de datos. Los antiguos constructores de calculadoras recuerdan con gran emoción aquellos tiempos en que los subprogramas estaban compuestos de una pieza de

cinta perforada, que tenía sus extremos enrollados a un pequeño anillo y se deslizaba interminablemente por el mecanismo lector. Pero también resultan demasiado lentas para el control del programa. (Figura número 45.)

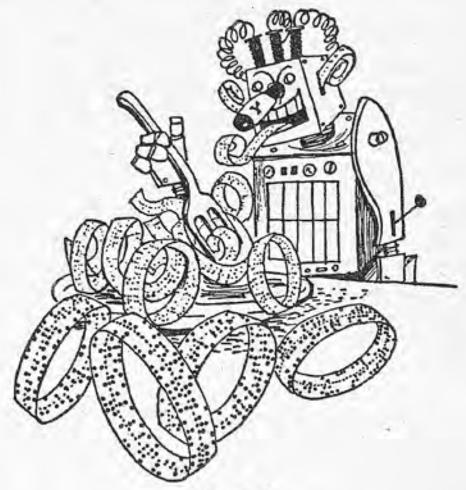


Figura 45

Por eso se utilizan las memorias magnéticas, incluso en la actualidad, para la formación de programas y subprogramas. Los mejores puntos de instrucción para programas se encuentran entre las memorias de núcleos. Ellas dan las órdenes con la misma rapidez con que el mecanismo calculador realiza sus operaciones. La colaboración es ideal. ¿Pero cómo se realiza este proceso en la práctica?

Lo mejor que podemos hacer es regresar al ejemplo del cálculo de los salarios, para tener una clara idea de cómo se desarrolla un programa en sus detalles.

Nos hallamos ahora ante la primera operación de cálculo. Se trata de sumar las horas que ha trabajado Fernando Pérez en la última semana. El reloj contador

y la tarjeta de control del señor Pérez nos ayudan a saber en qué momento exacto de cada día ha entrado y salido de la fábrica. La calculadora electrónica ha recibido la información de forma automática. Estas cifras son almacenadas semanalmente en una misma dirección de la memoria. Las horas trabajadas por el señor Pérez el lunes son anotadas siempre en la dirección 1007; las del martes en la 1008, las del miércoles en la 1009, y así sucesivamente hasta el sábado, día para el que se ha reservado la 1012. En la dirección 1013 ya nos encontramos con las horas trabajadas el lunes por el señor Carlos Pastor.

Nuestro programa debe calcular en primer lugar las horas de trabajo de toda la semana. Para ello, tiene que sumar los *contenidos* de las direcciones 1007 a 1012. La primera orden es: suma el contenido de la dirección 1008, al contenido de la dirección 1007. La segunda orden: añade al resultado el contenido de la dirección 1009, y así sucesivamente.

Hemos estado hablando repetidamente de *órdenes*, sin saber con exactitud cómo son, cómo se formulan y cómo las interpreta la calculadora. Es muy sencillo: cada orden es un número de varias cifras. En la calculadora ER 56 (de la Standard Elektrik Lorenz), que a partir de ahora utilizaremos con frecuencia como ejemplo, el número de la orden contiene siempre siete cifras. Las cuatro primeras son llamadas *parte de dirección*. Si, por ejemplo, nos encontramos aquí un «3762», quiere decirse que algo debe ocurrir con el número contenido en la dirección 3762. Las dos últimas cifras del número de orden son la *parte de operación*, y ellas indican lo que debe ocurrir con el número de la dirección 3762. Un «45» en la parte de operación significa: suma el número al que está en el registro. Un «46» significa: resta el número al contenido del registro. Un «47» ordena: multiplica el número por el contenido del registro.

(Y ahora le tenemos que preguntar, ¿recuerda aún lo que es un registro? Los registros son memorias de gran velocidad, conectadas directamente con el mecanismo calculador, para mantener los resultados parciales de una operación.)

Naturalmente, también existe una orden que envía el primer número de un proceso de cálculo al registro, sacándolo directamente de su dirección, así como otra orden que recoge el número existente en el registro al final de las operaciones de cálculo —o sea el resultado definitivo—, y lo dirige a una dirección determinada.

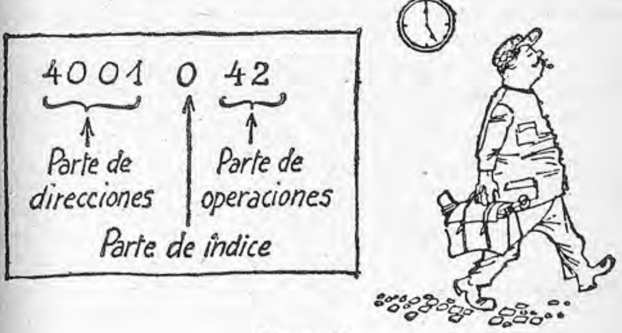


Figura 46

Estas dos órdenes tienen los números «41» y «42» respectivamente. Cuando, al final del proceso de suma de las horas trabajadas por el señor Pérez, se ordena a la calculadora electrónica: «Envía el resultado final del registro a la dirección 4001» (que se mantiene continuamente libre para recibir el resultado semanal de las horas trabajadas por el señor Pérez), dicha orden tendrá el aspecto que se muestra en la figura núm. 46.

Si observa usted con atención descubrirá que en el quinto lugar de la orden, entre las partes de dirección y de operación, hay un cero, que llamamos *parte de índice,* y representa un invento muy sofisticado. El ER 56 (que seguimos utilizando como ejemplo), dispone de diez *registros de índice.* Se trata de memorias que pueden anotarse números de cuatro cifras, las mismas que tiene una dirección. Supongamos que en el registro de índice 7 se ha memorizado el número 0350. Ahora le llega la orden:

2141 7 41

Podríamos suponer que, siguiendo dicha orden, el contenido de la dirección 2141 debe ser llevado al registro normal. Pero no es así. La orden toma el número del registro de índice 7 —que en este caso es el 350—, y lo suma a la parte de dirección —que en este caso es la 2141—; y entonces se dirige a la dirección 2491 para llevar su contenido al registro de cálculo. (Figura número 47.)



Figura 47

¿Y para qué se necesita hacer todo eso? ¿Es que el programador no puede dar la dirección correcta sin más complicaciones?

Claro que puede hacerlo. Pero con este procedimiento de índice, aparentemente complicado, se ahorra trabajo. Volvamos ahora al cálculo de los salarios. Para calcular la labor semanal del señor Pérez, el programa debe llamar a las direcciones 1007 a 1012. Así lo hemos visto antes. Si se quieren saber las horas trabajadas por el señor Carlos Pastor, se necesita para ello el contenido de las direcciones 1013 a 1018, ambas incluidas. En realidad, para el señor Pastor se tendría que escribir un nuevo programa, pues en este caso tenemos que calcular con los contenidos de direcciones diferentes a las del señor Pérez.

Pero es aquí donde podemos ver la utilidad del registro de índice. Con su ayuda se puede emplear el programa del señor Pérez para calcular las horas trabajadas por el señor Pastor, y por todos los demás tra-

bajadores cuyo salario se ha de calcular según los mismos principios que el del señor Pérez.

Supongamos que utilizamos el registro de índice 3, escrito «I 3» en forma abreviada. En consecuencia, todas las órdenes relacionadas con la suma de las horas de trabajo de los empleados, llevarán un 3 en la parte de índice. En la parte de dirección contendrán las direcciones del señor Pérez: 1007 a 1012. El primer I 3 es colocado ahora a cero. De este modo no cambian las direcciones y el programa calcula las horas semanales trabajadas por el señor Pérez. Una vez terminado con ello, se añade un seis al contenido de I 3. Entonces, el programa recoge las direcciones 1007 + 6 a 1012 + 6, o sea de la 1013 a la 1018, ambas incluidas, que corresponden al señor Pastor. Para calcular las horas trabajadas por cada uno de los demás empleados sólo se añade un seis al contenido de I 3, mientras que el programa se mantiene igual.

De este modo, un solo programa es suficiente para calcular semanalmente los salarios de todos los empleados de la fábrica.

Hasta ahora hemos hablado de órdenes, a las que la calculadora ER 56 está acostumbrada a obedecer. Otras máquinas atienden otras instrucciones, pero las que se dan a todas las computadoras tienen algo en común: contienen una parte de operación y otra de dirección. En el caso de computadoras que disponen de memorias rápidamente accesibles, la parte de dirección puede ser enormemente amplia (como ocurre, por ejemplo, con la Z 22 de Zuse). En el sistema de la IBM 360 se introducen incluso dos direcciones, que se refieren a dos números diferentes, llamados *operandos*. En algunas computadoras, la secuencia de órdenes-direcciones está firmemente establecida desde el principio. Otras computadoras reciben información mediante dos direcciones, acerca de dónde pueden encontrar las dos cifras que se han de sumar, multiplicar o relacionar de alguna otra forma. Otras computadoras..., pero dejemos ya esto. Existen cientos de tipos diversos de calculadoras, y casi cada una de ellas tiene su propio sistema de órdenes. Estamos seguros de que no querrá usted saber tanto (16).

Además, en las siguientes páginas ya serán las cosas

lo bastante complicadas como para que las hagamos aún más difíciles. Se lo advertimos, querido lector: si usted opina que el cálculo electrónico no merece el esfuerzo de comprensión que le vamos a pedir a partir de ahora, nosotros no lo tomaremos a mal. Le aconsejamos entonces que continúe usted la lectura a partir del capítulo 8.

¿No quiere usted pasar, sin leerlas, todas las hojas siguientes? ¿Desea seguir leyendo? ¡Como quiera! La que deberá trabajar será su mente, no la nuestra.

¿Qué le parece que debe ocurrir con las órdenes de nuestro programa para que la calculadora las tenga en cuenta? Lo mejor debería ser tratarlas como números normales de siete cifras, transformarlos en impulsos en la perforadora de cintas e introducirlos en la calculadora, para ser conservados en sus memorias de núcleos, por ejemplo, en las direcciones 3000, 3001, 3002, y así sucesivamente. Eso está muy bien, pero ¿y después?

Antes de ver lo que ocurre posteriormente, debemos presentarle una parte muy importante de nuestra calculadora, de la que no hemos hablado hasta ahora: la *unidad de control e instrucción*. Su misión consiste en preocuparse de que la computadora actúe. Envía las órdenes a las memorias y cuida de que éstas se cumplan. En cierto modo es como el cerebro del cerebro electrónico. Sólo la unidad de instrucción convierte a la calculadora en un robot, en un autómata, en algo que hace algo por sí mismo.

Pero antes que nada somos nosotros los que debemos hacer algo: poner en marcha la unidad de instrucción.

¿Podemos rogarle que se acerque con nosotros al panel de control de nuestra computadora? Se trata nuevamente de una del tipo ER 56. Verá usted un grupo de botones con números, una serie de llaves, otra de bombillas, varias filas de pequeñas lámparas de señales...

Pero no tema, no le vamos a explicar el funcionamiento de cada uno de estos elementos. Sólo queremos que apriete usted los botones numerados, de acuerdo con el número de la dirección que contiene la primera

instrucción de nuestro programa. Se trata de la dirección 3000.

¿Lo ha hecho así? Muy bien. La computadora aún está silenciosa, tranquila. Pero cuando apriete usted el botón que dice MARCHA...

Desgraciadamente, no podrá ver lo que ocurre en ese preciso momento. La corriente que fluye por los hilos, transistores y núcleos magnéticos, es invisible, pero aun suponiendo que la pudiera ver, no se daría cuenta de nada. Ya sabe que el funcionamiento se produce a una velocidad de vértigo.

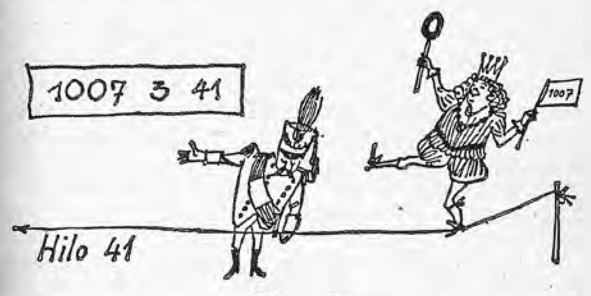


Figura 48

Sin embargo, nosotros queremos explicárselo con calma. Al apretar el botón de MARCHA queda libre el camino para que la orden de la dirección 3000 se dirija hacia la unidad de instrucción. Mientras está en camino, la unidad de instrucción se ha anotado el número de dirección 3000, ha llegado a la unidad de instrucción, presentándose allí, como vemos en la figura núm. 48.

Naturalmente, esta secuencia de números está expresada en bits, en «1» y «0», y los bits de los primeros cuatro guarismos se ponen en seguida a trabajar, emitiendo un impulso de pregunta a la dirección 1007 (tal y como lo hemos visto en el capítulo anterior). (De momento no tenemos en cuenta el número de índice 3, con objeto de facilitar nuestra explicación. Estamos trabajando en el cálculo del salario del señor Pérez, en cuyo índice sólo hay un cero.) Si recuerda lo que hemos di-

cho en las páginas 55 a 61 se dará cuenta de lo que ocurre técnicamente para que el bit del número 1007 se transforme en un solo impulso de corriente que se dirige a la dirección 1007 en forma de impulso de pregunta. Los circuitos Y, así como los circuitos O, clasifican los impulsos (los *descifran)*, hasta que sólo queda uno de ellos, situado precisamente en el hilo que conduce sin ningún desvío a la dirección 1007.

Mientras la parte de dirección se entera del contenido de la dirección, la parte de operación no permanece inactiva. Se ha descifrado a sí misma, y es dirigida como impulso individual —que por otro lado es un impulso especialmente largo— hacia un hilo con el número «41». Desde allí realiza la misma tarea que un encargado de señales de ferrocarril y cuida de comprobar que el contenido de la dirección 1007 fluya precisamente hacia el registro (naturalmente, esto sólo es aplicable al «41», porque si el número de operación es el «45», por ejemplo, el contenido de la dirección tiene que fluir directamente a la matriz de adición).

Estos conmutadores eléctricos no son más que nuestros antiguos conocidos, los circuitos Y. Ellos se sitúan frente a todas las unidades de la computadora, bloqueando el paso. Los impulsos procedentes de la dirección 1007 ven como todos sus caminos están cerrados por circuitos Y, ya sea hacia la matriz de adición, la de multiplicación o hacia cualquier otra memoria. Pero entonces, como si fuera el príncipe azul del cuento, llega el impulso del número de operación 41. Su hilo conduce hacia los circuitos Y, que hacen guardia frente a la entrada del registro. Cuando se unen el impulso del 41 y los impulsos de la dirección 1007, se forma una coalición irresistible. En consecuencia, el circuito Y se abre y los impulsos pasan a uno de los registros. (Como ya hemos indicado antes, el impulso de operación es especialmente largo, con objeto de que todos los de la dirección 1007 puedan seguir su camino sin problemas).

¿Es esto muy complicado? Quizá comprenda usted mejor la colaboración que se establece entre la unidad de instrucción y los puntos de conexión, observando la figura núm. 49.

Ya puede imaginarse cómo continúa todo el proceso.

Una vez se ha llevado a cabo una operación de cálculo (por ejemplo, en cuanto se ha sumado la última cifra de un número), se informa de ello a la unidad de instrucción del departamento de la calculadora de que se trate, por medio de un *impulso de instrucción cumplida* (17). A continuación, la unidad de instrucción extrae

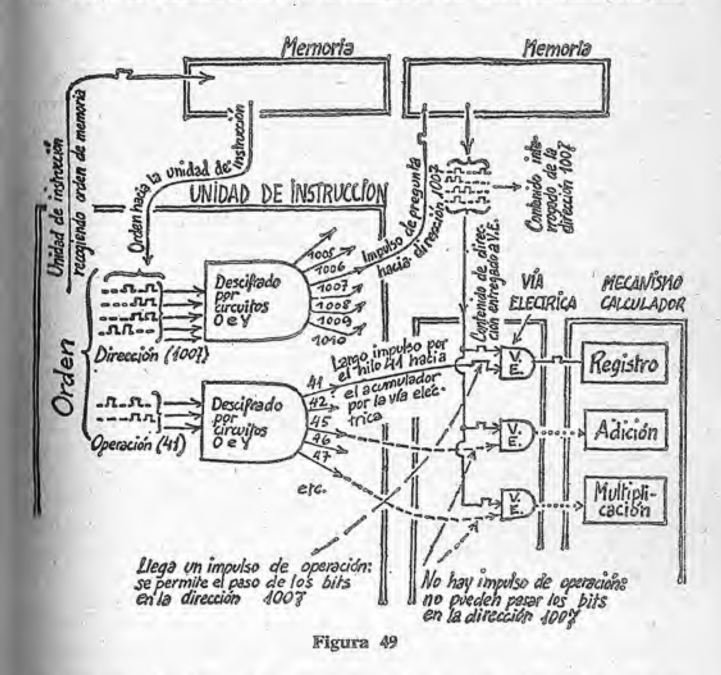


Figura 49

la orden siguiente de la memoria, cuya situación conoce porque ya se había anotado su dirección con anterioridad. Mientras se cumple la nueva orden, la unidad de instrucción se anota la dirección de la orden siguiente..., pero esto ya no es nada nuevo para usted, querido lector.

Ahora podemos seguir dibujando el esquema de bloque de la computadora, que ya comenzamos en la figu-

ra núm. 35, añadiéndole la unidad de instrucción y el *pupitre de control,* mostrando cómo fluyen las órdenes y cómo se mueve la sucesión de números que han de ser calculados. Esto lo encontrará usted en la figura número 50.

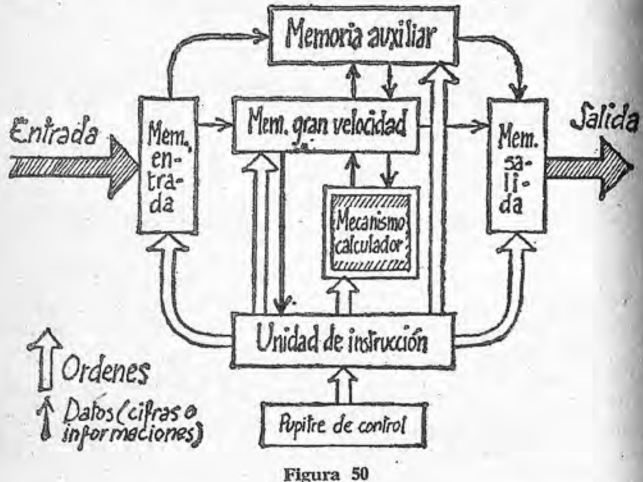


Figura 50

Todas las calculadoras que existen en el mundo trabajan según este esquema de bloque. Y ahora ya le hemos presentado todas las unidades importantes existentes en las máquinas electrónicas de elaboración de datos. Unicamente nos falta presentarle al más importante aparato de todos, con el que hasta ahora no ha tenido usted casi ningún contacto: el hombre que está sentado delante de la calculadora, y le hace comprender lo que debe hacer y cómo debe hacerlo. El hombre que establece su programa.

En el capítulo siguiente trataremos de él.

7

ES ASOMBROSO QUE TODO FUNCIONE

El muy noble arte de programar con éxito

Los buenos programadores son escasos porque, no sólo tienen que saber algo de matemáticas y entender un poco de técnica, sino que también han de poseer mucha fantasía, además de grandes dotes de organización. Los programas de mayor éxito no son escritos únicamente como una lista de compras, sino compuestos como un concierto de cámara. Al hacerlo, es importante que el programador tenga la capacidad necesaria para imaginar cómo aceptará la máquina su programa.

Puede suceder que una calculadora realice sin oponer resistencia el programa más difícil imaginable. Pero también hay casos —y son mucho más frecuentes de lo que quisieran los propios programadores—, en los que un programa, que parece ser perfectamente correcto desde el punto de vista matemático, es rechazado por la computadora poco después de iniciar ésta sus operaciones. La máquina se niega a calcular, se declara en huelga e informa que lo programado es imposible.

A veces también existen programas con los que la calculadora trabaja afanosamente, para ofrecer al cabo de poco tiempo, con el orgullo de quien ha resuelto una tarea muy difícil, un resultado totalmente desproporcionado.

Son éstos los momentos en que las calculadoras electrónicas se parecen más a los seres humanos. Entre los matemáticos que deben proporcionar nuevas instruccio-

nes a la computadora que ha seguido un proceso de cálculo erróneo, reina un profundo desánimo durante los siguientes días de trabajo. Un mal programa es tan vergonzoso para los programadores como lo puedan ser para los literatos las aventuras del Zorro, el vengador de la máscara negra.

Pero en ocasiones no es el programa el que tiene la culpa, sino la propia calculadora. Entonces, es precisamente el programador quien más se alegra de poder demostrar que su máquina, aparentemente infalible, ha cometido un error. Así son las cosas a veces.

A pesar del gran valor que los programadores suelen conceder a sus esclavos electrónicos, de vez en cuando se deslizan expresiones muy curiosas en su lenguaje especializado; muy extrañas, en labios de científicos.

«¡Hoy no quiere hacer nada!», dice uno. «Al parecer, no puede hacerlo.» O, con cierto respeto: «¡Ya vuelve a portarse como una loca!»

Estas expresiones no siempre se refieren al jefe, cuando él no está, claro, sino más frecuentemente a la calculadora que da vueltas y más vueltas inútiles a un programa.

No obstante, los programas que nosotros vamos a utilizar como ejemplos no representarían nunca un serio problema para ninguna calculadora. Empezaremos por uno de suma muy sencillo.

La tarea consiste en sumar 50 números, que ya han sido introducidos en la calculadora y memorizados en las direcciones 1001, 1002, 1003, etc., hasta la 1050. Ya conoce usted con detalle lo que tiene que hacer la computadora: debe llevar el primer número al registro, sumarle el segundo, después el tercero y así sucesivamente, hasta obtener el resultado final. Por el capítulo anterior también conoce las órdenes que hay que darle para que pueda realizar esta tarea. Sin embargo, es nuevo para usted los signos simbólicos de que se sirven los programadores antes de escribir las órdenes en el lenguaje mecánico.

La primera orden, por ejemplo, tendría el siguiente aspecto utilizando esas escrituras simbólicas de programa:

(1001) = > A

Esto quiere decir que el número de la dirección 1001 debe dirigirse al registro. A continuación se incluyen las órdenes de suma:

A + (1002)
A + (1003)
A + (1004)

etcétera. Ya puede usted imaginar la orden que expresan estos símbolos: Suma al contenido del registro, el contenido de la dirección 1002. Suma después al contenido (nuevo) del registro, el contenido de la dirección 1003. Y así continúa la escritura simbólica hasta llegar a las dos últimas órdenes de la tarea de cálculo:

A + (1050)
¡alto!

Es curioso, pero la orden de ¡alto! es muy importante, porque sin ella, la calculadora estaría buscando nuevas órdenes de programa hasta la eternidad, y nunca acabaría su cálculo.

Si lo desea podemos escribir con más detalle la sucesión de órdenes, haciéndolo en la escritura simbólica de los programadores, y en el lenguaje de órdenes de una computadora electrónica (y seguimos utilizando como ejemplo el lenguaje de la ER 56, que ya nos es conocido por el capítulo anterior).

Escritura simbólica	*Lenguaje mecánico*	
(1001) = > A	1001 0 41	(¡llévalo al registro!)
A + (1002)	1002 0 45	(¡suma!)
A + (1003)	1003 0 45	(¡suma!)
A + (1004)	1004 0 45	(¡suma!)
A + (1005)	1005 0 45	(¡suma!)
...	...	
...	...	
A + (1048)	1048 0 45	(¡suma!)
A + (1049)	1049 0 45	(¡suma!)
A + (1050)	1050 0 45	(¡suma!)
¡alto!	7900 0 00	(¡detente!)

En el lenguaje mecánico la orden de ¡alto! lleva un 7900 en la parte de dirección. Pero en la ER 56 no hay ninguna dirección 7900. Este número no es descifrado en la unidad de instrucción como una dirección de impulso de pregunta, sino simplemente como una orden breve y seca: «¡Detente! ¡Ha terminado el cálculo!»

Suponiendo que fuéramos programadores en un centro de cálculo científico, en una escuela superior técnica, o en una empresa industrial (¿por qué no?) y presentáramos este programa a nuestro *programador jefe* para sumar 50 números, su rostro se volvería pálido, y después rojo, y después...

En cualquier caso, nos daríamos cuenta en seguida de una cosa: nuestro programa no le habría gustado lo más mínimo. Quizá tuviera la paciencia necesaria para explicarnos el porqué, y entonces nos diría: «Requiere demasiadas células de memoria.»

Como verá usted, para efectuar la suma de nuestros 50 números es necesario ocupar 50 lugares en una memoria. Al parecer, esto no se puede cambiar. En segundo lugar, tenemos que disponer aún de otro lugar de memoria para la orden 51 de nuestro programa... y eso es demasiado. Los lugares de memoria son uno de los bienes más costosos de una calculadora. Si tuviéramos que dar una orden para cada una de las cifras que deben ser sumadas, la memoria tendría que tener un tamaño doble por lo menos.

Entonces, ¿qué hacemos? ¿Acaso podemos salir del paso con una sola orden de suma que se repita en cada cifra? Si lo hiciéramos así tendríamos que procurar que la dirección a que se refiere la orden, cambiara en cada caso.

¡Eso sí que se puede hacer! ¿Recuerda usted el registro de índice del que hablamos en el capítulo anterior? Su contenido puede ser añadido a la parte de dirección de una orden, de modo que ésta pueda dirigirse a nuestras direcciones. Si nos las pudiéramos arreglar para que uno de los registros de índice sumara una cifra, de una orden a otra, de modo que la dirección de la orden de suma se viera aumentada en esa misma cifra, se podría... ¡Naturalmente!

Vamos a comprobarlo en seguida. Tomemos el registro de índice 8 (en escritura simbólica: I 8) y comprobemos que, en principio, no contenga más que simples ceros:

0000 = > I 8

Quizá se le haya ocurrido ya la solución: cuando, en la escritura simbólica, hay números entre paréntesis —como, por ejemplo (2401)—, significa que se trata de una dirección. Por el contrario, si los números no tienen paréntesis —como el 0000 que acabamos de ver—, se trata de un simple número, o sea del contenido de una dirección o de un registro. Por nuestra parte también pondremos los paréntesis en el texto, allí donde corresponda, de modo que reine el orden entre los números de las direcciones.

Pero ahora continuemos con nuestro programa. La primera orden ha colocado el I 8 en el cero. La segunda orden debe llevar el contenido de la primera dirección al registro (igual que hemos hecho antes):

(1001) = > A

Con la tercera orden ya empezamos a sumar. Para no olvidar añadir siempre a la dirección de la orden el contenido del registro de índice 8, escribimos la dirección (1002) acompañada del propio número del registro de índice, o sea el 8, con lo que quedará así: (1002/8). Entonces, anotamos como próxima orden:

(1002/8) + A

En esta ocasión, y a pesar de la presencia del registro de índice 8, no ha cambiado en nada el número de la dirección (1002), puesto que en dicho índice sólo hay ceros, tal y como hemos dicho antes y (1002) más cero sigue siendo (1002). Pero esta situación cambia ya en la suma siguiente. La próxima orden va al registro de índice 8 y le ordena sumar un uno —escrito 0001— a los ceros que contenía:

I 8 + 0001

Y ahora ya no necesitamos dar ninguna orden más; la unidad de instrucción puede echar mano del anterior

(1002/8) + A

porque, mientras tanto, ha aparecido un uno en el registro de índice, y la dirección hacia la que se dirige la orden ya no es la (1002), sino la (1003). En consecuencia, el contenido de la dirección (1003) es sumado al contenido del registro de cálculo. El paso siguiente es la aparición de nuevo de la orden

I 8 + 0001

que eleva el contenido de índice de 0001 a 0002. Entonces, la unidad de instrucción puede regresar de nuevo a la orden

(1002/8) + A

y así sucesivamente. Un paso hacia adelante, y otro hacia atrás. Estos retrocesos del programa para dirigirse a una orden dada con anterioridad son señalados por medio de una *orden de salto*, expresada así:

S, ǂ

Entonces, la sucesión de órdenes tendría el siguiente aspecto:

```
           0000 =  > I 8
         (1001) =  > A
┌──────►(1002/8)   + A
│            I 8   + 0001
└──────────── S,   ǂ
```

Tal y como está escrito, este programa sólo contiene un gran error: es incansable; nunca dejaría de calcular, y con el transcurso del tiempo llegaría a sumar las cantidades más curiosas. Pero nosotros únicamente queremos que sume 50 números. La máquina debe dejar su trabajo después de haber calculado la suma del número situado en la posición cincuenta, o, lo que es

lo mismo, después de que el contenido del registro de índice haya aumentado hasta el número 49.

Para conseguirlo así se hace que la calculadora memorice el número 49 en alguna parte y se le ordena que después de cada operación compare el contenido del registro de índice con el 49 memorizado. Para eso es necesario darle otra orden:

I 8 ? 0049

Casi se la puede escuchar preguntando a cada nueva operación: ¿No ha llegado aún al 49?

Ahora debe usted saber que la orden de salto citada anteriormente (la S, +) es lo que se llama una *orden de salto condicionada,* y no siempre permite que el programa retroceda, sino que lo hace únicamente mientras la contestación a la pregunta «I 8 ? 0049» sea negativa. Si la contestación es afirmativa, es decir, cuando el contenido del registro de índice ha alcanzado el número, 49 la orden de salto ya no ordena ningún salto más. Entonces, permite que la computadora continúe sus cálculos por sí misma. Pero es precisamente en este momento cuando ya no hay que hacer otra cosa que llevar a cabo la orden final, ya conocida de

¡alto!

Ahora, nuestro programa tendrá el siguiente aspecto, desde el principio hasta el final:

```
            0000  = > I 8
          (1001)  = > A
  ┌──► (1002/8)  + A
  │          I 8  + 0001
  │          I 8  ? 0049
  └────────── S, +
            ¡alto!
```

Y ante un programa compuesto de este modo, nuestro programador jefe no tendría nada que objetar. Ahora sólo necesitamos siete órdenes, sólo ocupamos siete lugares de memoria, frente a los 51 que habíamos uti-

lizado antes. Y esto representa una gran ventaja, porque con el mismo número de órdenes de programa no sólo se pueden sumar 50 cifras, sino también 200 o 6.000; lo único que hay que hacer en tal caso es colocar el número comparativo en el 49, en el 199 o en el 5.999 respectivamente. Con este programa se puede realizar cualquier suma, a condición de que nos hayamos preocupado antes de situar perfectamente los números que se han de sumar en los lugares de memoria, desde el 1001 en adelante. Si la calculadora tiene que realizar sumas con mucha frecuencia, el programa de adición se deja durante meses, e incluso para siempre en las memorias de programa. Es éste un lujo que se pueden permitir los programadores, pues se trata de un programa muy corto y que ocupa muy poco espacio.

Frente al programa, más amplio, que vimos en la página 121, este nuevo tiene una desventaja es más lento. Por otro lado, esto es comprensible; un *programa cíclico* (con saltos incluidos en él), necesita un número relativamente grande de lo que se llaman *órdenes de organización,* con objeto de provocar las comparaciones, los retrocesos, etc. —además de las llamadas *órdenes aritméticas,* cuya tarea sólo consiste en calcular—. Un *programa lineal* sin saltos hacia atrás está compuesto casi exclusivamente de órdenes aritméticas, por lo que se puede ejecutar con mayor rapidez.

Al principio elegimos un programa lineal para la suma de nuestros 50 números. En dicho programa se necesita un tiempo de 0,20 milisegundos para cada orden (igual a 0,20 milésimas de segundo). Sólo la orden de ¡alto! se basta y sobra con 0,15 milisegundos. Así pues, el tiempo total de cálculo sería de 50 por 0,20 más 0,15, o sea 10,15 milisegundos.

Diez milisegundos representan la centésima parte de un segundo. Si tiene usted una cámara fotográfica se hará una idea de la rapidez con que se lleva a cabo el proceso. Con una exposición de diez milisegundos podría fotografiar un coche de carreras a toda marcha.

Nuestro programa cíclico, por el contrario, dura algo más. Un ciclo (que comprende desde la tercera hasta la sexta orden) necesita unos 0,8 milisegundos para cada

nueva operación. Las dos primeras órdenes, así como la de ¡alto!, necesitan en conjunto unos 0,5 milisegundos. Así pues, todo el programa se realiza en 49 por 0,8 más 0,5, igual a 39,7 milisegundos, o lo que es lo mismo: una cuadragésima parte de un segundo, aproximadamente.

Para nosotros es indiferente que una calculadora tarde la cuadragésima o la centésima parte de un segundo para sumar 50 números. Como todo se desarrolla con tal rapidez, nos sentimos algo impresionados por ello, y no prestamos demasiada atención a unos fragmentos de segundo más o menos. Pero hasta los fotógrafos saben que existe una diferencia entre la cuadragésima y la centésima parte de un segundo. Para el programador, dicha diferencia tiene mucha importancia, pues en la mayor parte de los casos no se contenta con sumar 50 números, sino que trabaja con programas mucho más amplios. Teniendo en cuenta que la realización de uno muy amplio puede durar una semana, y que si se programa de otro modo, dicho tiempo puede aumentar al doble con cierta facilidad, vale la pena reflexionar al respecto.

Pero ya hemos dicho antes que el número de células de memoria que necesita un programa para conservar sus órdenes es tenido en tanta consideración como el tiempo que se empleará para realizar el cálculo. Es precisamente en el caso de programas gigantes cuando hace falta más espacio en las memorias. En tales situaciones, el programador no sólo debe ser un buen matemático, sino tener además la capacidad del director de una industria, para sopesar las ventajas de disminuir el espacio utilizado por las memorias, y la posibilidad de reducir el tiempo de cálculo. Este compromiso, aceptado por el programador, decide a menudo la utilidad de un programa de cálculo. Existen programas, cuya elaboración requirió mucho trabajo, en que todos los registros de la computadora están trabajando, al mismo tiempo que varios mecanismos calculadores, y en los que las partes del programa se encuentran en conexión, aprovechándose hasta el último lugar de memorización, con objeto de aprovechar al máximo las posibilidades de cálculo y la velocidad de la máquina. Se trata de

programas tan bien elaborados que hasta los propios compañeros del programador, que no tienen nada que ver con dicho programa, sacuden la cabeza con cierto escepticismo y dicen: «Es asombroso que todo funcione.»

Una de las características del buen programador es el dominio de todas las triquiñuelas que se pueden emplear para alcanzar el objetivo propuesto, en las mejores condiciones. Algunos grandes matemáticos no se las entienden muy bien con las calculadoras, precisamente, porque les falta esa hábil capacidad de combinación que debe tener un buen programador.

Una computadora electrónica bien desarrollada comprende alrededor de 100 órdenes diferentes. En la mayor parte de los casos se añaden a ellas toda una serie de órdenes especiales, de modo que un programador, que quiera aprovechar todas las posibilidades de su máquina, no sólo debe conocer cien o más órdenes diferentes, sino que también tiene que poder enjuiciar sus efectos. Ya le hemos dado a conocer algunas, aritméticas y de organización. ¿Le interesa saber que hay otras por medio de las cuales se pueden desplazar los números del registro tantos puestos como se desee a derecha o izquierda del lugar ocupado por la coma decimal (18), y que además existen órdenes con las que se pueden convertir en cero ciertos lugares de un número memorizado, haciéndolas desaparecer?

Ya hemos hablado de las órdenes de salto. En nuestro programa de adición hemos empleado el salto hacia atrás, pero a veces también se realiza hacia adelante. Imagine, por ejemplo, un programa con el que se debe calcular la resistencia que opone el aire al fuselaje de un avión. Ahora bien, hay aviones que tienen un tren de aterrizaje recogible, y otros que no lo tienen. El programa debe tener en cuenta las dos posibilidades. Por eso, allí donde el cálculo se enfrenta al problema de la resistencia adicional del aire ante un tren de aterrizaje fijo, el programa debe contener una orden comparativa y otra de salto. La primera investiga si existen cifras relacionadas con un tren de aterrizaje fijo. Si no es así,

entra en acción la orden de salto, con objeto de impulsar el programa hacia el lugar donde sea capaz de seguir calculando el programa prescindiendo del tren de aterrizaje. De este modo se ahorra el tiempo que necesitaría la calculadora para elaborar matemáticamente grandes filas de ceros para un tren de aterrizaje fijo inexistente.

Las órdenes comparativa y de salto proporcionan a la computadora la posibilidad de decidir cómo seguir calculando. Con su ayuda se puede decidir si se ha establecido un número con la exactitud necesaria como para poder seguir operando con él; o si aún se tienen que extraer algunos decimales más; qué clase de procedimiento de cálculo es el más apropiado para definir una magnitud matemática; si existe la necesidad de comprobar la validez de una fórmula recién descubierta, por medio de unos pocos miles más de cálculos experimentales; o bien si los resultados obtenidos ofrecen la suficiente seguridad.

Otro grupo de órdenes abarca las de entrada y salida. Puede haber, por ejemplo, un símbolo como el siguiente:

LS = > (4711)

Significa: «Querido lector de cinta perforadora LS, comprueba lo que hay en la cinta perforadora que se acaba de introducir, e impúlsala fragmento a fragmento hacia la memoria de entrada; por favor, comienza a hacerlo por la dirección (4711).» Ordenes similares son las que controlan la lectura de las cintas magnéticas y la perforación de las cintas, así como la comprobación de las mismas y la escritura de los resultados obtenidos en cintas perforadas, teletipos e impresoras rápidas.

Finalmente, se conocen órdenes que regulan el tráfico entre las diversas unidades de la computadora. Ante ellas, las informaciones de la cinta magnética son realzadas en el tambor magnético, o pasan de este último a la memoria de núcleos. Una de las órdenes que

se dan a la cinta magnética es la de «¡Barre hacia atrás!» Otra dice: «¡Aquí y aquí se debe empezar a leer la cinta!»

Naturalmente, cada instrucción simbólica tiene una traducción al lenguaje mecánico de cada computadora. La orden simbólica

S (1234)

significa en castellano: «¡Programa, salta a la dirección (1234)!», lo que en el lenguaje mecánico de la ER 56 se dice así: «1234 0 12». La orden simbólica

LS = > (4711)

con la que se deben enviar los datos de la cinta perforada a la memoria —a partir de la dirección (4711)—, se escribe «4711 0 67» en el lenguaje mecánico de la ER 56.

El lenguaje de la ER 56 es relativamente sencillo. Pero hay otras calculadoras que tienen lenguajes mucho más complicados. En aquellos casos en que se trabaja de acuerdo con un código binario de cuarenta lugares, también es necesario que las órdenes tengan 40. Pero no vamos a recargar su mente con esto. Ni siquiera los programadores tienen que enfrentarse con este tipo de problemas, porque ellos terminan su trabajo en el momento en que escriben todos los detalles del programa por medio de órdenes simbólicas. La traducción de las mismas al lenguaje mecánico (realizado antiguamente por asistentes muy trabajadores) es ejecutada en la actualidad por la propia calculadora, que dispone de programas adicionales, llamados *programas de traducción,* capaces de comprender la escritura simbólica y de traducirla al lenguaje mecánico utilizado por la computadora (19).

Ahora que ya sabe que existen numerosas posibilidades de órdenes, podemos reconstruir un poco nuestro programa de acción, partiendo desde el principio. Hasta ahora sólo hemos calculado con este programa, pero

no hemos demostrado ningún interés por decirle cómo llegan a las memorias los números que queremos sumar, y cómo aparecen los resultados de dichas operaciones. Ha llegado el momento de preocuparnos de ello, porque, ¿de qué nos sirve el más maravilloso de los cálculos si su resultado permanece después en el registro, en forma de impulsos magnéticos?

Tomamos los números que deseamos sumar y los mecanografiamos en una cinta perforada, por medio de un teletipo. Por lo tanto necesitamos en primer lugar una orden que conduzca dichos números desde la cinta perforada hasta la memoria —y además, a partir de la dirección (1001), porque así ha sido establecido nuestro programa:

LS = > (1001)

Y ahora nos preocupamos por el resultado que aparecerá más tarde en el registro; en primer lugar deseamos alojarlo en una célula de memoria vacía, por ejemplo, en la (0610). En este caso, a la dirección (0610) la llamamos una *célula auxiliar*. La orden simbólica sería la siguiente:

A = > (0610)

La perforadora de cintas podrá entonces buscar el resultado en la célula auxiliar, y perforarlo en una cinta. La orden necesaria para ello, sería:

(0610) = > LS

Si está usted de acuerdo, vamos a presentarle nuestro programa cíclico de adición —en el que, naturalmente, quedarán incluidas las órdenes que acabamos de citar—. Primeramente lo reproduciremos en forma de escritura simbólica, para pasarlo después a la escritura mecánica de la ER 56. En la tercera columna anotaremos las direcciones en las que queremos memorizar cada una de las órdenes del programa. Para ello hemos comenzado, arbitrariamente, por la direc-

ción (0600). También podríamos haber elegido cualquier otra; nuestra calculadora tiene las suficientes como para elegir.

Ordenes simbólicas	*Ordenes en código de la máquina*	*Direcciones de memoria para las órdenes*
LS = > (1001)	1001 0 67	(0600)
0000 = > J 8	0000 8 91	(0601)
(1001) = > A	1001 0 41	(0602)
→ (1002/8) + A	1002 8 45	(0603)
J 8 + 0001	0001 8 93	(0604)
J 8 ? 0049	0049 8 98	(0605)
S, ∓	0603 0 14	(0606)
A = = > (0610)	0610 0 42	(0607)
(0610) = > LS	0610 0 69	(0608)
¡alto!	7900 0 00	(0609)
	0000 0 00	(0610)
	9999 9 99	(0611)
	9999 9 99	(0612)

¿Nos ha seguido usted? Si es así, nos alegramos y confiamos en que le guste a usted programar. ¿Podemos indicarle ciertas particularidades existentes en el código de la máquina? Bajo la dirección (0606) aparece la orden escrita en código mecánico «0603 0 14». Se trata aquí de la orden de salto: «¡Hacia atrás, rápido!».

Al programar se tiene que llevar mucho cuidado al llegar a este punto, para que el salto hacia atrás sea exacto, o sea, que se produzca hasta la orden de dirección (0603). La flecha es la que expresa el salto entre las órdenes simbólicas, y en este caso señala hacia allí. En consecuencia debe aparecer la dirección (0603) en código mecánico. Y así es, en efecto, porque la orden, escrita en el código de la máquina, es «0603 0 14».

Ya hemos hablado de la orden de ¡alto!, que en la ER 56 siempre es «7900 0 00», y se encarga de detener la marcha de la calculadora. Y si ha seguido usted bien

nuestras explicaciones, también sabrá por qué hemos elegido la dirección (0610) como célula auxiliar; cuando llegamos a la dirección (0609), el programa ha terminado, y (0610) es la siguiente célula auxiliar libre. Como dicha célula debe permanecer libre para que se aloje en ella el resultado del cálculo, se coloca en ella una cadena de siete ceros, en lugar de una orden.

¿Pero qué significan las dos órdenes «9999 9 99» situadas en las células auxiliares (0611) y (0612)? ¿No ha terminado ya nuestro programa?

Eso es precisamente lo que significan los siete nueves repetidos por dos veces. En el caso de la ER 56 son lo que se llama *palabra omega* (en otras calculadoras también existen combinaciones semejantes). En el alfabeto griego, la omega es la Z, o sea la última letra, el final del alfabeto. Pues bien, la palabra omega comunica a todas las unidades de la máquina: «¡Aquí llega la orden definitiva de alto!» Tanto en la entrada como en la salida de las órdenes, la presencia de siete nueves, repetidos dos veces, significa que todo ha terminado en las cintas perforadas. El lector de cinta se detiene después de haber llevado los dos «9999 9 99» a las células auxiliares (0611) y (0612). La perforadora de cintas también se para en cuanto ha taladrado la palabra omega sobre el papel. Y el teletipo, a través del cual pasa la cinta perforada, hace lo propio en cuanto ha reconocido la presencia de los dos «9999 9 99».

Querido lector, creemos que el programar ha exigido de usted un gran esfuerzo. Los verdaderos programadores se echarían a reír. ¡Pero déjeles que rían! Existen problemas cuya solución hace rechinar los dientes, incluso a esos hombres. En esos casos tan difíciles, los programadores no suelen escribir inmediatamente las órdenes simbólicas en una lista muy detallada. Primeramente elaboran un *diagrama de desarrollo,* o sea un concepto general, dividido a veces toscamente, en el que se refleja todo lo que debe ocurrir durante el proceso de cálculo.

Si fuera necesario presentar un diagrama de desarro-

llo para nuestro programa cíclico de adición, tendría el mismo aspecto que se muestra en la figura núm. 51.

El hecho de que algunos datos estén rodeados por círculos, y otros por cuadrados, no representa ninguna

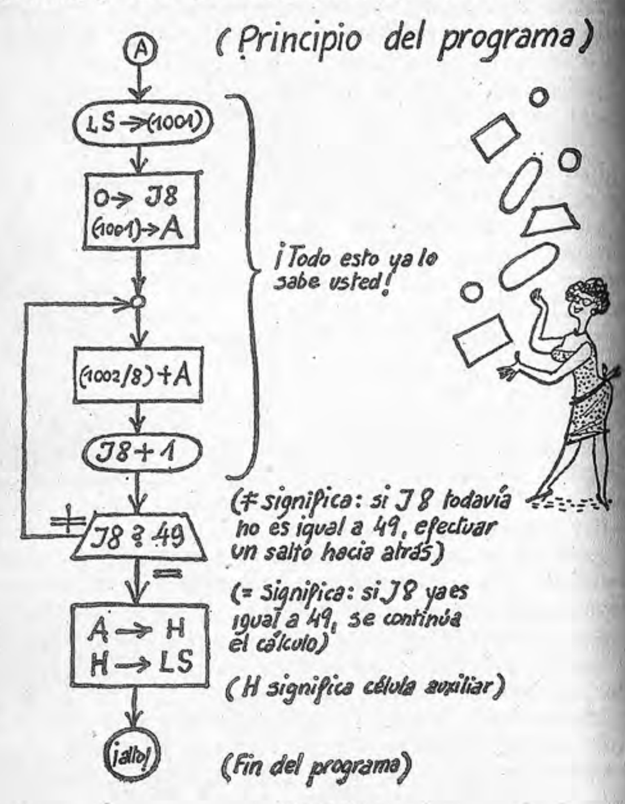


Figura 51

broma por parte de nuestro dibujante. Se trata más bien de la representación del lenguaje internacional de los programadores. Los datos rodeados por un rectángulo significan: «Aquí se realiza una operación aritmética.»

En los círculos, por el contrario, sólo hay simples órdenes de organización, y los rombos —también hay uno—, encuadran preguntas de decisión. Para que los programadores de todo el mundo no tengan dificultades para dibujar figuras circulares, cuadrangulares o en forma de rombo, hay plantillas de plexiglás, muy cómodas.



Figura 52

Si compara usted el diagrama de desarrollo de la figura núm. 51 con la sucesión de órdenes simbólicas que le hemos presentado en la página 132, dirá usted: «¡pero si aquí no hay, prácticamente, ninguna diferencia!»

Y debemos admitirlo: tiene usted razón. La estructura de nuestro programa de adición es tan sencilla, que ni siquiera el diagrama de desarrollo puede ser más simple que la sucesión de órdenes. Pero la situación cambia mucho en el caso de programas más complicados. Entonces, el diagrama de desarrollo representa realmente un concepto lógico que después debe ser desarrollado en todos sus detalles, para formar la lista de órdenes.

Para que vea con claridad la cantidad de cosas que se pueden abarcar esquemáticamente en un diagrama de desarrollo, nos vamos a alejar del campo de la ciencia por un momento y vamos a entrar en el de la falta de sentido. En las figuras núms. 54 a y 54 b, encontrará usted un diagrama de desarrollo, tal y como suelen realizarlo los programadores cuando saben que el jefe no puede verles. (Figura núm. 52.)

Pero ahora volvemos a ponernos serios —si usted nos lo permite—, y vamos a tratar de cumplir la promesa que le hemos hecho en el capítulo anterior: realizar un programa para el cálculo de los salarios de los empleados de una fábrica. Ya hemos hablado de la suma de las horas semanales trabajadas y de cómo se hace un programa que efectúe dichas sumas. Por lo tanto, supongamos que las horas semanales ya han sido sumadas, y están a nuestra disposición. El resto del programa ya es lo bastante amplio como para que nos pongamos a explicar de nuevo en estas líneas la suma de dichas horas.

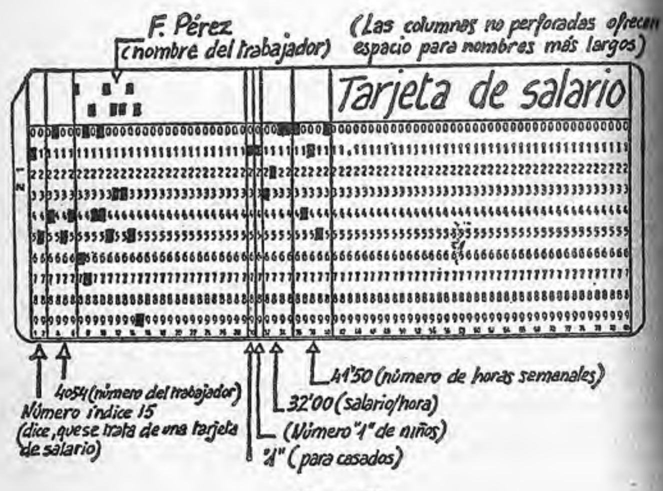


Figura 53

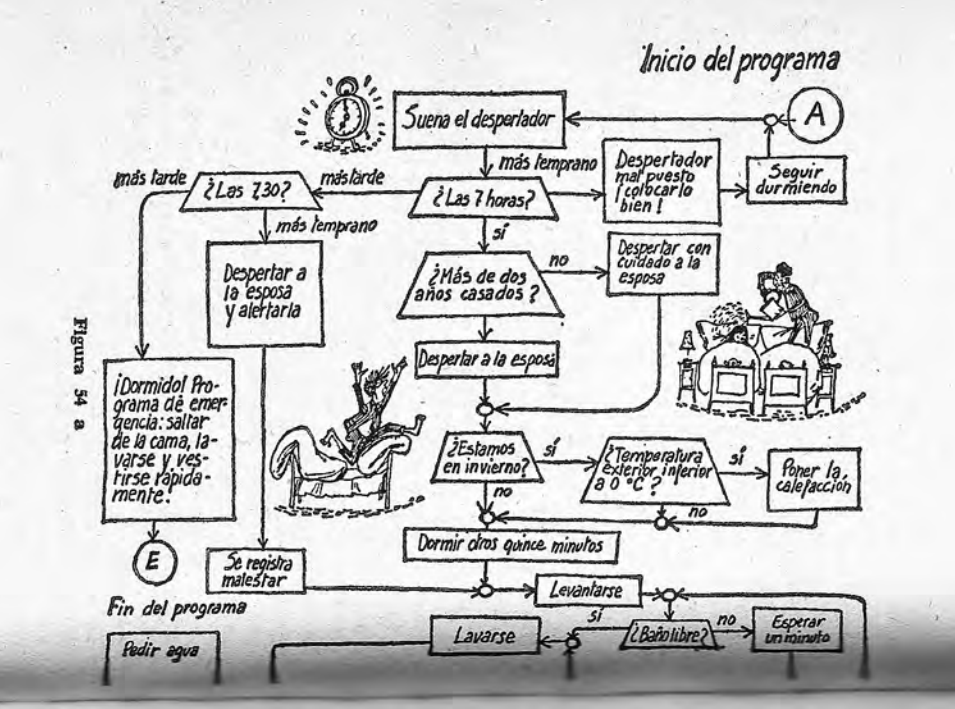
La calculadora encuentra en una tarjeta perforada tanto el número de las horas semanales por cada empleado, como todos los demás datos importantes para nuestro programa. La tarjeta perforada que le mostratramos en la figura núm. 53, no sólo ha sido dibujada

así en este libro, sino que en la realidad es exactamente igual.

Nuestro programa debe calcular ahora el salario bruto del señor Pérez, teniendo en cuenta que ha trabajado 41,5 horas durante la semana. (Se procede como si la hora estuviera dividida en 100 partes iguales, pues así se calcula con mayor facilidad. Por lo tanto, 30 minutos son iguales a 0,5 horas y 15 serían 0,25 horas.) En la primera operación de cálculo ya se tienen que multiplicar las horas semanales por el salario hora. Pero los sindicatos no estarían de acuerdo con esto, pues verían que el señor Pérez ha trabajado más de 40 horas a la semana y, por lo tanto, le corresponde un 20 por ciento de aumento sobre el salario hora, por cada una que supere dicha cifra semanal. Así pues, por cada hora que sobrepase las 40, el programa tiene que calcular ese 20 por ciento y sumarlo al cómputo total.

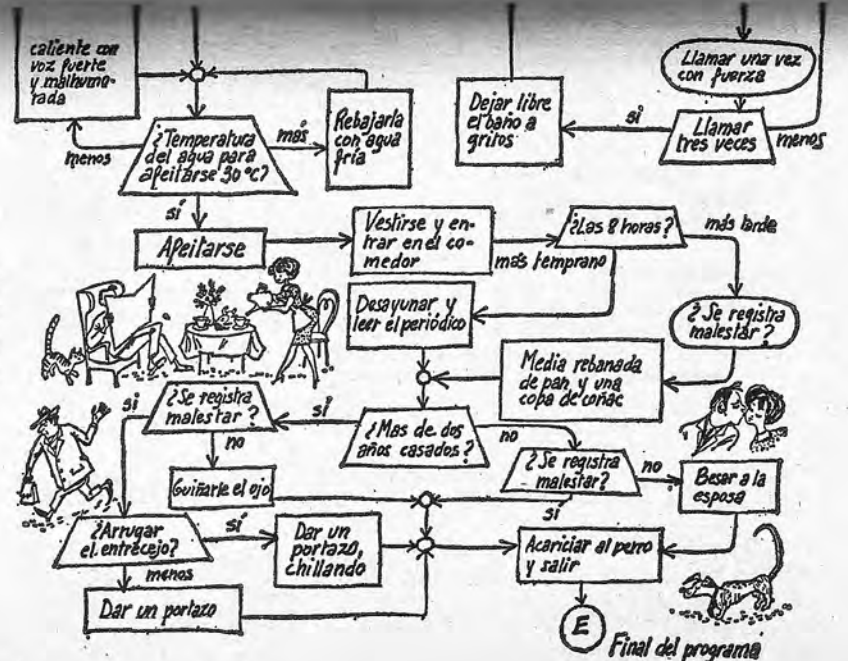
El resultado así obtenido es lo que se llama el salario bruto. Y ahora llega el Ministerio de Hacienda para cobrar lo que le corresponde. Como en nuestro ejemplo no se trata de reproducir la realidad con tanta exactitud, podemos introducir nuestro propio sistema de impuestos, relativamente más sencillo que el oficial: si el empleado gana menos de 3.000 pesetas a la semana, tiene que pagar el 20 por ciento si es soltero, y el 15 por ciento si es casado. Si el salario bruto semanal es superior a la citada cifra, los solteros pagarán el 25 por ciento y los casados el 20. Los impuestos se reducen en un 3 por ciento por cada hijo, pero sólo cuando el salario bruto semanal es inferior a las 3.000 pesetas.

Le rogamos, querido lector, que no preste atención a las injusticias sociales de este sistema de impuestos. No se fije tampoco en el hecho de que nuestro señor Pérez no paga seguros sociales. Nuestro programa sólo es un pequeño ejemplo inofensivo y por eso puede limitarse a calcular el salario y deducirle unos impuestos. Con esto ya tiene bastante, sobre todo si tenemos en cuenta que a ello se añaden toda una serie de tareas de organización interna. El programa, por ejemplo, tiene



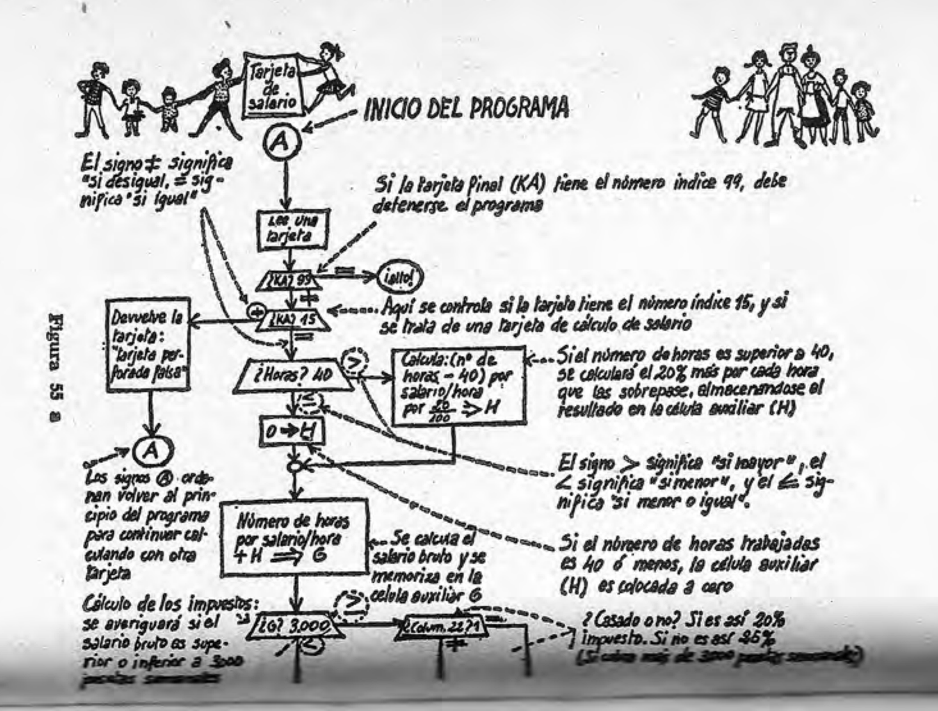
Inicio del programa
A
Suena el despertador
más temprano
¿Las 7 horas?
Despertador mal puesto ¡colocarlo bien!
Seguir durmiendo
más tarde
¿Las 7,30?
más tarde
más temprano
sí
¿Más de dos años casados ?
no
Despertar con cuidado a la esposa
Despertar a la esposa y alertarla
Despertar a la esposa
¡Dormido! Programa de emergencia: saltar de la cama, lavarse y vestirse rápidamente.
¿Estamos en invierno?
sí
¿Temperatura exterior inferior a 0 °C ?
sí
Poner la calefacción
no
no
Dormir otros quince minutos
E
Se registra malestar
Levantarse
Fin del programa
sí
¿Baño libre?
no
Esperar un minuto
Lavarse
Pedir agua

Figura 54 a



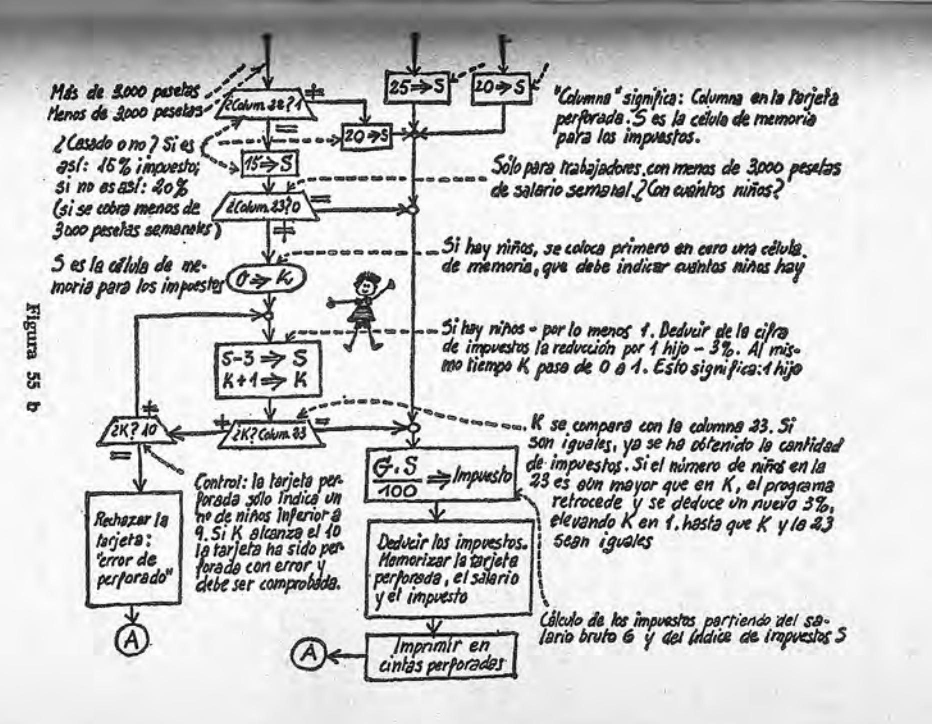
Llamar una vez con fuerza
Llamar tres veces
menos
sí
Dejar libre el baño a gritos
caliente con voz fuerte y malhumorada
¿Temperatura del agua para afeitarse 30 °C?
menos
más
Rebajarla con agua fría
sí
Afeitarse
Vestirse y entrar en el comedor
¿Las 8 horas?
más tarde
más temprano
¿Se registra malestar?
Desayunar y leer el periódico
Media rebanada de pan y una copa de coñac
¿Mas de dos años casados?
sí
no
¿Se registra malestar?
sí
no
Guiñarle el ojo
¿Se registra malestar?
no
sí
Besar a la esposa
¿Arrugar el entrecejo?
sí
menos
Dar un portazo, chillando
Dar un portazo
Acariciar al perro y salir
E
Final del programa

Figura 54 b



Tarjeta de salario
INICIO DEL PROGRAMA
A
El signo ≠ significa "si desigual, = significa "si igual"
Si la tarjeta final (KA) tiene el número indice 99, debe detenerse el programa
Lee una tarjeta
¿KA? 99
=
¡alto!
≠
¿KA? 15
Aquí se controla si la tarjeta tiene el número índice 15, y si se trata de una tarjeta de cálculo de salario
Devuelve la tarjeta: "tarjeta perforada falsa"
A
¿Horas? 40
>
Calcula: (nº de horas − 40) por salario/hora por 20/100 ⇒ H
Si el número de horas es superior a 40, se calculará el 20% más por cada hora que las sobrepase, almacenándose el resultado en la célula auxiliar (H)
≤
0 → H
El signo > significa "si mayor", el < significa "si menor", y el ≤ significa "si menor o igual".
Los signos A ordenan volver al principio del programa para continuar calculando con otra tarjeta
Número de horas por salario/hora + H ⇒ G
Se calcula el salario bruto y se memoriza en la célula auxiliar G
Si el número de horas trabajadas es 40 ó menos, la célula auxiliar (H) es colocada a cero
Cálculo de los impuestos: se averiguará si el salario bruto es superior o inferior a 3000
>
¿G? 3.000
<
¿Colum. 22? 1
=
≠
¿Casado o no? Si es así 20% impuesto. Si no es así 25%

Figura 55 a



Más de 3.000 pesetas
Menos de 3000 pesetas
¿Colum. 22? 1
¿Casado o no? Si es así: 15% impuesto; si no es así: 20% (si se cobra menos de 3000 pesetas semanales)
15⇒S
20⇒S
25⇒S
20⇒S
"Columna" significa: Columna en la tarjeta perforada. S es la célula de memoria para los impuestos.
Sólo para trabajadores, con menos de 3.000 pesetas de salario semanal. ¿Con cuántos niños?
¿Colum. 23? 0
Si hay niños, se coloca primero en cero una célula de memoria, que debe indicar cuántos niños hay
S es la célula de memoria para los impuestos
0⇒K
Si hay niños - por lo menos 1. Deducir de la cifra de impuestos la reducción por 1 hijo - 3%. Al mismo tiempo K pasa de 0 a 1. Esto significa: 1 hijo
S-3 ⇒ S
K+1 ⇒ K
¿K? 10
¿K? Colum. 23
K se compara con la columna 23. Si son iguales, ya se ha obtenido la cantidad de impuestos. Si el número de niños en la 23 es aún mayor que en K, el programa retrocede y se deduce un nuevo 3%, elevando K en 1, hasta que K y la 23 sean iguales
Control: la tarjeta perforada sólo indica un nº de niños inferior a 9. Si K alcanza el 10 la tarjeta ha sido perforada con error y debe ser comprobada.
Rechazar la tarjeta: "error de perforado"
A
G.S/100 ⇒ Impuesto
Deducir los impuestos. Memorizar la tarjeta perforada, el salario y el impuesto
Cálculo de los impuestos partiendo del salario bruto G y del índice de impuestos S
Imprimir en cintas perforadas
A

Figura 55 b

que seleccionar todas aquellas tarjetas perforadas que tienen un «15» (el número de índice para tarjeta de cálculo de salario) en la columna de *tipo de tarjeta.* Esto se hace así porque siempre se puede introducir una tarjeta totalmente ajena a las de cálculo de salario, y se produciría una gran confusión si la calculadora se empeñara en calcular el salario, partiendo de los datos de las necesidades de la empresa en tubos de acero de 3 milímetros de espesor, antecedentes contenidos en la tarjeta de almacén que se ha introducido por equivocación entre las de cálculo de salario. Además, el programa debe detener el funcionamiento de la calculadora cuando llega la *tarjeta final,* cuyo número de índice es el 99. Además...

Pero todo eso lo verá usted mejor en las figuras números 55 a y 55 b, porque allí se indica todo lo que tiene que hacer el programa.

Aunque este diagrama de desarrollo ya contine órdenes simbólicas perfectamente formuladas en algunos lugares, en otros no es más que un esbozo, que aún debe ser desarrollado en todos sus detalles. Esta mezcla detallada y de indicaciones de tipo general puede ser encontrada en cualquier diagrama de desarrollo, y cuanto más complicado sea el programa, tanto más predominante será el carácter conceptual de dicho diagrama (20).

Ahora podríamos escribirle el programa de cálculo de salarios, elaborado con toda exactitud, tanto con respeto a órdenes simbólicas, e incluso a órdenes mecánicas, pero eso además de ser difícilmente de explicar, superaría la extensión de una línea de la página de este libro, y es algo que queremos ahorrarle a usted, al linotipista y a nosotros mismos.

Quizá pueda darse cuenta ahora de que el verdadero milagro del cálculo electrónico sólo se encuentra en parte en los trabajos realizados por la calculadora electrónica, y de que su éxito depende tanto de que dichos trabajos se realicen a la perfección, como de la capacidad del programador, la persona que da las instruccio-

nes a la calculadora. Si en la «Introducción» dijimos que no existen cerebros electrónicos, puede que, al fin y al cabo, no sea del todo cierto. Es posible que los haya. Pero, si los hay, seguro que no se encuentran en las enormes cajas de metal pintadas de gris de las calculadoras, sino en las cavidades craneales de los programadores.

8

ESPECULEMOS UN POCO

Poetas y pensadores electrónicos

Cuando le dimos a leer nuestro manuscrito a un especialista, exclamó: «¡Vaya! En este capítulo empieza la parte poco seria del libro.»

Para una mentalidad científica, todo aquello que vaya más allá de la convicción de unos hechos demostrados con exactitud, resulta poco serio. En la actualidad se especula demasiado sobre el futuro de las calculadoras electrónicas, cuya época de mayor esplendor quizá no haya llegado todavía. Lo que se lee a veces nos suena tan familiar y es tan digno de crédito, como un informe que hable del futuro aterrizaje de seres humanos en Marte. No se puede tomar a mal que los científicos se muestren escépticos con los trabajos que tratan de popularizar la ciencia. Sin embargo, esto no nos debe impedir a nosotros especular un poco sobre el tema que nos ocupa. Nuestra obra no quedaría completa si no nos atreviéramos a levantar ligeramente la cortina tras la que se supone que se encuentra el desarrollo futuro. No obstante, tendremos mucho cuidado de mantenernos dentro del campo de las probabilidades, así como de informarle, en el momento adecuado, en qué parte de nuestra historia están los hechos reales, y qué otra parte alberga tan sólo deseos y sueños por el momento.

A primera vista, lo que va a leer ahora parece, en efecto, muy poco serio, y además suena a novela del

futuro. Sin embargo, se trata de ciencia pura, ejercida ya desde hace años:

I

Toda nieve es fría
y no todo ángel es blanco
y no toda nieve es tranquila
y ninguna paz es fría
y ningún ángel es brillante
y toda paz es tranquila.

II

Ninguna paz es blanca
o el ángel es blanco
o un árbol de Navidad es frío
y no toda paz es hermosa
y un niño es dócil.

III

Cada Santa Claus es silencioso
o no todo niño es silencioso
o el bosque es frío
y ningún bosque es hermoso
o ningún ángel es hermoso
o el trineo es silencioso
o el niño es blanco.

IV

La nieve es fría
y toda paz es profunda
y ningún árbol de Navidad es ligero
o toda vela es blanca
o una paz es fría
o no toda vela es pura
y un ángel es puro
y toda paz es silenciosa
o toda paz es blanca
o el niño es silencioso.

V

Un ángel está en todas partes.

Este poema apareció publicado en el número de Navidad de 1959 de la revista juvenil *Sí y No*. ¿Qué piensa usted de él? La opinión de los lectores de la revista estaba dividida. En las cartas que llegaron a la redacción se expresaban opiniones tanto favorables sobre el poeta vanguardista, como de desagrado ante «ese galimatías navideño». En otro número de la revista el editor imprimió, junto con algunas cartas de sus lectores, una declaración en la que afirmaba nada menos, que no se trataba de la obra de un poeta, sino del trabajo de una calculadora electrónica del tipo ZUSE Z 22.

Más adelante le explicaremos cómo pudo la calculadora entrar a formar parte del privilegiado grupo de los literatos. Primeramente le queremos mostrar el camino que siguen los programadores para obtener rendimientos tan asombrosos de sus máquinas de cálculo. Es el sendero que va desde las máquinas de calcular hasta las *máquinas pensantes*. («Máquina pensante» es una expresión que hasta los mismos científicos utilizan de vez en cuando para referirse a sus máquinas electrónicas elaboradoras de datos.)

Es evidente que las computadoras electrónicas se desarrollaron con gran rapidez, yendo en su labor, mucho más allá de la simple solución de tareas de tipo aritmético. No pasó mucho tiempo antes de que los programadores plantearan a sus máquinas problemas cuyo cálculo no se habían atrevido a realizar ni los más famosos matemáticos. Entre este tipo de problemas se encuentra, por ejemplo, la expresión en términos matemáticos de complicados procesos químicos y biológicos. En tales casos no es raro encontrarse con ecuaciones que contienen 200 términos desconocidos; los matemáticos saben muy bien lo que eso significa. En la misma categoría de dificultades están los cálculos previos sobre las dimensiones que deben tener las diferentes partes de un avión. Cuando hablamos en el capítulo anterior de la resistencia que opone el aire a los trenes de aterrizaje, según sean recogibles o rígidos, les presentamos el problema de una forma muy simplificada. Los cálculos que requiere esta investigación son tan complicados que no se encuentra a nadie dispuesto a realizarlos. Por lo tanto, los aviones se constru-

yeron durante muchos años para ser probados primeramente en el túnel de aire, hasta que se consiguió hacerlos volar. En la actualidad se pueden calcular todos los detalles de su construcción, gracias a las calculadoras electrónicas. Pero también ellas necesitan horas e incluso días para realizar tantas operaciones, tan complicados son los problemas técnico-matemáticos que se plantean, y tan amplios los programas que se necesitan para resolverlos.

A veces, las empresas de ingeniería electrónica necesitan circuitos que tendrán que realizar una función determinada, pero de los que no se sabe nada más *a priori.* No se dispone de ninguna instrucción sobre cómo deben estar construidos o qué tamaño deben tener sus elementos. Entre ellos se encuentran los llamados *filtros* utilizados en telecomunicaciones. Pueden servir, por ejemplo, para seleccionar de tal modo las muchas conversaciones que se dirigen por un solo hilo, que cada persona sólo pueda escuchar las palabras destinadas a ella. ¡Un asunto muy delicado! Antes, para calcular un filtro, se reunían dos o tres ingenieros y matemáticos, que se pasaban varias semanas trabajando en colaboración. En la actualidad existen programas de cálculo destinados a resolver este tipo de problemas. El tiempo de cálculo es de quince minutos, y en él está iucluido el que la imprenta rápida emplea para escribir los resultados. A las ocho de la mañana, el ingeniero entrega a la computadora de servicio los datos que se refieren al filtro completo. A las doce del mediodía ya puede disponer del filtro, perfectamente fabricado y soldado, listo para su uso.

Para controlar los cálculos, los programadores han compuesto un contracálculo que, partiendo de los componentes para los que se han hecho dichos cálculos, determina con toda exactitud todo aquello que será capaz de hacer el filtro compuesto con los citados componentes. Los resultados deben estar de acuerdo con las exigencias que el ingeniero ha presentado a las ocho de la mañana (por medio de la cinta que va saliendo de la impresora rápida, el ingeniero también puede conocer detalles sobre lo que ocurriría si se sobrepasara tal o cual límite de tolerancia en esta o aquella

parte componente del filtro. Esto ahorra numerosas mediciones a los técnicos encargados de construir el filtro). El tiempo de cálculo de este segundo programa es también de unos quince minutos. Resulta imposible establecer una comparación con el que hubieran tenido que emplear los matemáticos para obtener los mismos resultados, ya que se trata de unos cálculos que nadie se atrevió a hacer hasta que llegaron las computadoras electrónicas.

Por otra parte, la programación de estos cálculos no es algo que pueda hacerse en una tarde perdida. Cada uno de los dos programas del filtro comprende unas 5.000 órdenes. A un buen programador se le concede aproximadamente una hora de trabajo por cada una de ellas, entre reflexionar sobre la tarea, realizar el diagrama de desarrollo, hacer las correcciones necesarias, etc. Esto significa que hasta el propio programador tendría que trabajar más de dos años en el problema hasta que su calculadora pudiera empezar a trabajar con uno de los programas. Si se suman, su salario, el costo de su puesto de trabajo, la utilización de la calculadora durante las pruebas y todo lo que implica la solución de este tipo de tareas, resultaría que la creación de un programa de 5.000 órdenes costaría alrededor de los tres millones de pesetas. Es evidente que todo esto sólo merecería la pena si el programa fuera a ser utilizado con cierta frecuencia (entonces cada circuito calcularía unas setenta veces más barato de lo que podrían hacerlo dos o tres personas especializadas), o bien si el cálculo no se puede realizar más que con medios electrónicos.

Es interesante saber que las computadoras electrónicas calculan las partes componentes de un filtro de un modo imposible de realizar por una máquina calculadora antigua. El robot emplea un método muy humano, pues es el utilizado por casi todos los escolares cuando no pueden solucionar su tarea de cálculo en la forma correcta; se trata de un método que, hasta hace muy pocos años, estuvo totalmente condenado entre los círculos científicos: simplemente, se dedica a probar. La computadora calcula la forma en que actuará el filtro deseado, partiendo para ello de diversos valores,

hasta que el resultado corresponde con la suficiente exactitud con lo que el ingeniero ha imaginado. Pero en el programa se tiene que determinar con anterioridad hasta qué punto debe existir concordancia entre los datos del ingeniero y los resultados que se obtendrán con la calculadora. Naturalmente, las pruebas no se hacen al buen tuntún, sino de acuerdo con un sistema programado mediante el cual se buscan las cifras de intento en intento, de tal modo que se encuentre la solución con la mayor rapidez posible.

Ahora podemos presentarle un ejemplo, bastante sencillo, de un método de prueba de este tipo. Supongamos que una calculadora debe extraer por el método de prueba la raíz cuadrada del número 100 (la raíz cuadrada de 100 es 10, porque 10 por 10 es igual a 100). En primer lugar, la computadora prueba con un número entre el 100 y el cero, que puede ser, por ejemplo, el 30. Prueba la multiplicación de 30 por 30 y obtiene un resultado de 900. Es excesivo. Entonces elige una cifra pequeña, como, por ejemplo, 2 por 2, igual a 4. ¡Demasiado poco! Esto significa que la raíz cuadrada de 100 debe encontrarse entre el 2 y el 30. La calculadora toma entonces un valor medio, el 16; 16 por 16, igual a 256. Sigue siendo más de 100. Entonces lo intenta con el 9, que es el valor medio entre el 2 y el 16: 9 por 9 da 91. Ahora, la máquina ya está muy cerca del 100, que es la cifra que va buscando. Después de otras cuatro operaciones, de acuerdo con este método, en las que siempre elige el valor medio entre las cifras que, multiplicadas por sí mismas, más se acercan al 100, la calculadora sabe que la raíz cuadrada de 100 se encuentra muy cerca de 10'3125. Otras tres operaciones y obtiene un resultado de 10'0390625. Tres pruebas adicionales y el resultado ya va aproximándose al exacto: 10'0048828125. Si realiza tres pruebas más obtendrá 10'0006103515625, y ya en este punto confiamos en que el programador sea condescendiente y acepte este resultado como suficiente aproximado a la solución correcta (el número 10).

Cuando se intenta resolver de una forma tan sistemática como ésta un problema matemático tan sencillo como la extracción de una raíz cuadrada, siempre se puede esperar obtener un resultado bastante razonable.

Pero ya no podemos tener tantas esperanzas cuando se trata de problemas matemáticos mucho más complicados. Por eso, este *procedimiento de aproximación* se utiliza diciéndole a la computadora que lleve una cuenta de cada uno de los procesos de cálculo que realiza y si, al cabo de, por ejemplo, 10.000 procesos individuales de cálculo, no se ha conseguido ningún éxito razonable, deberá abandonar la tarea e informar: «¡Así no puede ser!»

Entre los círculos de cálculo se conocen dos métodos de prueba, que hay que distinguir perfectamente entre sí. Uno de ellos es el *procedimiento de aproximación iterativo.* Ya puede usted olvidarse de este nombre tan largo. Dicho procedimiento consiste en un método sistemático de prueba, tal y como el que hemos utilizado para encontrar la raíz cuadrada de 100.

Al otro método se le da un nombre más bonito: *test Monte Carlo.* Su procedimiento consiste en la falta de sistema. Al igual que ocurre con la ruleta de Montecarlo, se prueba con números escogidos al azar, seleccionados sin ninguna razón y entregados a la calculadora para ver lo que ésta hace con ellos.

El sistema Monte Carlo es utilizado para imitar situaciones reales que son igualmente casuales. Los circuitos eléctricos que han de trabajar bajo condiciones diversas y continuamente cambiantes, pueden ser controlados mediante un test Monte Carlo, en el que los valores de comprobación son elegidos tan arbitrariamente como ocurre en la realidad. Así, por ejemplo, se puede comprobar la carga que soporta una red telefónica, que depende de la casualidad de que un abonado llame a otro. Para ello se programa la red telefónica en una computadora y después se establecen conexiones telefónicas, mediante números seleccionados al azar, hasta que se llega a la conclusión de que la red es adecuada en tal o cual sección, mientras que en otras necesita más extensiones.

Gracias a los métodos no convencionales de la calculadora electrónica, el *experimento numérico* —como se llama a esta prueba confiada a la casualidad— pudo asegurarse un lugar en la ciencia. Ya verá usted cómo a través de los experimentos numéricos se pueden hacer

cosas asombrosas. Pero antes quisiéramos decirle de dónde extrae la calculadora los *números aleatorios* para sus experimentos. Para ello dispone de un *generador aleatorio de números,* que es una especie de dado automático, o sea un programa del que van saliendo números en una sucesión totalmente libre. No le vamos a explicar aquí cómo funciona dicho programa, pues sería bastante complicado.

Y ahora, regresamos a la literatura navideña. Quedamos en que nuestra calculadora había hecho una poesía. Al parecer, realizó con ello una especie de destacado rendimiento mental.

Los escépticos pueden decir que para crear un fragmento de lírica moderna no se necesita ningún trabajo mental. Puede ser. En cualquier caso, el hecho de que una máquina cree frases comprensibles —aunque el sentido de algunas de ellas permanezca un tanto oscuro—, sigue siendo algo muy notable. Pero, además, se nos ocurren otras indicaciones que atestiguan la capacidad de pensamiento de la calculadora. ¿Qué pasa, por ejemplo, con esas calculadoras que pueden jugar al Nim? ¿Y con aquellas otras capaces de traducir frases latinas? Cualquier estudiante de bachillerato estaría dispuesto a declarar por escrito que para ello se necesita emplear la materia gris.

Entonces, ¿cómo se adapta esta afirmación a la observación, varias veces repetida, de que las calculadoras electrónicas son máquinas bastante tontas a pesar de sus cualidades?

Se adapta, siempre y cuando no pensemos que disponen de toda la amplitud de capacidad mental del ser humano. Por ahora, las computadoras no tienen fantasía, ni conciencia, ni aptitud para crear conceptos superiores. Pero en ellas se puede programar el más simple proceso de pensamiento, el ordenamiento o relación lógica de hechos sencillos.

Uno de esos poco complicados procesos de pensamiento sería el siguiente: sé que mi tren sale a las ocho y diez. Miro el reloj y observo que ya son las ocho. Sé que tardo quince minutos en llegar a la estación. En consecuencia, llego a la conclusión de que ya no podré coger ese tren.

No existe la menor dificultad en enseñarle a una computadora un proceso de pensamiento como éste. La calculadora se limitará a comparar la hora de salida del tren con la hora exacta del momento en que nos encontremos, tendrá en cuenta el tiempo que tarda en recorrer el camino y podrá decir, con una seguridad absoluta: «¡Es suficiente!» o «¡No es bastante!»

Pero, naturalmente, ni el mejor ni el más astuto cerebro electrónico, llega por sí solo a esta conclusión. Antes debe saber que hay trenes, relojes y hasta que puede existir el problema de llegar con retraso. Antes hay que enseñarle todos los hechos y las posibles consecuencias que se derivarán de los mismos. Claro que no se puede descartar la posibilidad de que un día exista una computadora a la que se le hayan enseñado algunos millones de hechos, y se le haya mostrado el camino que ha de recorrer para relacionarlos entre sí, y que, como consecuencia de todo ello, llegue a conclusiones lógicas totalmente nuevas, si se la deja comparar y sopesar entre sí hechos y datos durante el tiempo necesario. Cuando esto suceda es casi seguro que saldrán a la luz del día relaciones muy interesantes y correctas entre los elementos más alejados que quepa suponer. Cuando se compara a los seres humanos con las computadoras, se olvida a menudo que un hombre, por muy bien dotado que esté, ha tenido que ser enseñado y educado por otros hombres durante decenios, antes de que su espíritu haya alcanzado un grado de formación tal, que valga la pena hablar de ella. Hasta ahora nunca se ha intentado poner a trabajar a cien programadores para que durante veinte años ininterrumpidos enseñen a la calculadora todo lo que saben. ¡Quién sabe lo que ocurriría si se hiciera así!

Por el momento, los precavidos científicos no están de acuerdo sobre si las computadoras muestran realmente alguna inteligencia de tipo humano. La mayoría de ellos se expresan al respecto con mucha cautela y dicen: «Las computadoras "simulan la inteligencia humana". Hacen como si...» Pero eso no es suficiente. También hay muchas personas que se conforman con simular una inteligencia humana, y se las arreglan muy bien de este modo. Una inteligencia simulada es sufi-

ciente para destacar en el juego del ajedrez. Los autómatas que juegan al ajedrez no son más que máquinas calculadoras, a las que se ha enseñado a mover las fichas correctamente y se les ha dicho que el objetivo del juego consiste en hacer jaque mate al rey. Después, se deja que la calculadora decida libremente los movimientos que ha de hacer para oponerse a los del contrario, ejecutando al final de sus cálculos aquellos de los que pueda obtener un mayor éxito. Una calculadora así nunca tendrá mucha fantasía, sólo jugará con una gran utilidad. En la mayor parte de los casos, un buen jugador de ajedrez, acostumbrado a engañar a su contrario mediante hábiles cambios de táctica, podrá vencer a la computadora. Por el contrario, un jugador medio será vencido por ésta, porque no puede calcular y sopesar todas las posibilidades con la misma rapidez y profundidad que ella.

Todos los *programas pensantes* de la calculadora electrónica se basan en los principios del juego automático del ajedrez. No son más que matemáticas aplicadas. Se han creado programas que, en caso de guerra, analizan las situaciones tácticas y estratégicas, siguiendo el sistema del juego de ajedrez, e informan sobre las mejores ofensivas o contraofensivas a realizar. También se han elaborado programas para proporcionar a los directores de fábricas las decisiones correctas más lógicas en las situaciones económicas complicadas. Hay programas que calculan para los campesinos en qué proporción deben plantar centeno, maíz y remolacha forrajera, para aprovechar al máximo tanto su trabajo como el de las máquinas, y obtener al mismo tiempo los precios más favorables en el mercado. Todos estos programas son muy efectivos, al menos en teoría; son perfeccionados año tras año, y puede que llegue el día en que tengan tanto valor como las opiniones de un consejero industrial, o de un general (en nuestra obra, *Calculadora electrónica en busca de posición responsable*, se ofrecen más detalles al respecto).

Ahora bien. Los problemas del ajedrez y las tareas de dirección económica pueden ser expresados en números, y ser comprendidos matemáticamente. El peón de un juego de ajedrez, la capacidad de producción de

una fábrica y la oferta del mercado, las campañas militares, el maíz y la remolacha forrajera se pueden representar con facilidad por medio de números de índice, con los que la máquina puede realizar sus cálculos de la forma acostumbrada. Pero ¿qué ocurre cuando entran en juego palabras, aunque pertenezcan a un lenguaje corriente, como en el ejemplo de ese poema navideño?

En tal caso, la computadora también se las puede arreglar muy bien. Tiene dos posibilidades de procesar palabras, conceptos y opiniones. Por una parte, puede absorber y memorizar palabras de una longitud normal, tal y como lo hace con los números de varias cifras. Existen códigos —como, por ejemplo, el de teletipo—, que permiten transformar en bits no sólo números, sino también palabras. La otra posibilidad es la de proporcionar a cada palabra un número de índice, y operar con ellos. Ambos métodos son utilizados.

Un ejemplo lo encontramos en los programas de traducción, sobre los que ya hemos hablado en el primer capítulo. Se entrega a la computadora una serie de palabras latinas, para que las memorice. Cada palabra es colocada en una dirección, y en otras direcciones correspondientes se memorizan las palabras castellanas que correspondan a la traducción. Esto es lo que forma el vocabulario. Después le llega el turno a la gramática. La gramática se compone, hablando en términos de cálculo electrónico, de regulaciones de circuitos para el programa. Cuando en el texto, que se desea traducir, no aparece la palabra *silva* (bosque) en su forma básica, sino *silvam*, la calculadora descubre en su memoria, mediante una línea de circuito, que esta forma es aceptable, que es un acusativo, y que la palabra «bosque» indica el complemento directo, por lo que si se tratara de una persona o cosa animada, añadiría en la traducción la preposición «a».

Y así, la computadora busca el significado en castellano de cada palabra en latín, la traduce de acuerdo con las reglas gramaticales, y la coloca en el orden adecuado. La frase «*Cerva in silvam ambulat*», sería traducida así: «La cierva en el bosque pasea.» Y la frase «*Avia cum puellis silvam intrat et puellis herbas monstrat*» sería traducida por: «La abuela con las niñas a

el bosque entra, y a las niñas las hierbas muestra.» Estas frases pueden sonar como parte de un poema, pero no están bien construidas en castellano. Debe crearse entonces otro proceso de trabajo que se preocupe para que la sucesión de las palabras aparezca de acuerdo con las reglas de la gramática castellana, eliminando o añadiendo una palabra aquí o allá.

En todas las lenguas hay palabras que tienen varios significados. En castellano, por ejemplo, existe la palabra «banco», que puede significar un lugar donde sentarse o bien otro donde depositar los ahorros. Piénsese, por ejemplo, en la palabra «clave». ¿Qué significa? ¿Unos signos previamente convenidos para escribir en cifra, un cémbalo, o una piedra con la que se cierra el arco o la bóveda? ¿Y qué ocurre con la palabra «estación»? ¿Significa un lugar donde se detienen los trenes, o se refiere a cada una de las cuatro épocas en que se divide el año?

¡Esto sí que son problemas para la pobre máquina de traducir! El lector humano sabe el significado de una palabra por el contenido de la frase o del artículo, y puede decidir si se está hablando de la estación del ferrocarril, o de la primavera. La computadora tiene que hacerlo exactamente igual. El programador tiene que estudiar a fondo el vocabulario de traducción antes de entregarlo a la máquina, porque debe proporcionar a la memoria de la calculadora toda una serie de conceptos relacionados con el caso de aquellas palabras que tienen varios significados. Con la palabra «banco» se relacionan palabras como «sentarse», «cómodo» y «respaldo» por un lado, y «dinero», «cuenta», «ventanilla», «robo», etc., por otro. Cuando se realiza la traducción, la computadora debe saber si aparecen en las cercanías de la palabra en cuestión algunos de los conceptos adscritos a ella. Si encuentra algunos, es muy probable que pueda decidir cuál es el significado correcto de dicha palabra. Si no encuentra ninguno...

De todos modos, los especialistas no están contentos con los rendimientos de las máquinas de traducir. La siguiente información procede de Quebec, donde se dio a la computadora una frase en griego para que la tradujera al inglés. La traducción correcta de la frase era:

«El espíritu es fuerte, pero la carne es débil.» ¿Y cuál creen ustedes que ofreció la máquina? Pueden reírse si quieren, fue ésta: «El whisky es aconsejable, pero la carne no es muy buena.» Aunque la anécdota sea muy divertida, cualquier iniciado en el campo del cálculo electrónico se dará cuenta de que la equivocación no puede ser atribuida al ingenio mecánico. Los errores cometidos aquí no son típicos en absoluto de los fallos



Figura 56

que comete una máquina de traducir. No obstante, esta anécdota muestra algo muy veraz: al traducir electrónicamente, aparecen a menudo errores asombrosos, sobre todo cuando los textos no se refieren al campo de los hechos reales y concretos, y pasan a tratar conceptos propios de esferas superiores, más espirituales y abstractas. Probablemente, el intento que se está haciendo de traducir automáticamente las obras de Oscar Wilde tendrá consecuencias grotescas. Ya una traducción de Edgar Wallace hace temer lo peor.

No obstante, los científicos quieren saber hasta qué punto está capacitada una computadora para traducir textos sin cometer errores gramaticales, e incluso con

un estilo agradable. El poema navideño que le hemos ofrecido al principio de este capítulo apareció durante el transcurso de uno de estos intentos, cuando se le ordenó a la calculadora del tipo «Z 22» que formulara frases libres.

De todos modos, los primeros ejercicios lingüísticos de esta máquina automática están relacionados con cuestiones campestres. Se entregaron a la computadora palabras como «campesino» y «aldea», «conde» y «siervo», además de adjetivos como «abierto» y «silencioso», «fuerte» y «estrecho». A ello se añadieron palabras como «uno» y «una», «todo» y «toda», «es» y «no». Después se enseñó a la computadora la forma de relacionar gramaticalmente las palabras, para que aparecieran frases legibles: primero el nombre, después el adjetivo. «Una» puede ir junto a «aldea», pero no junto a «siervo»; «toda» puede tener significado unida a «iglesia», pero no a «conde».

Para que pueda usted hacerse una idea de la amplitud de un ejercicio de esta clase, capaz, sin embargo, de ser realizado por cualquier niño que asista aún a la escuela elemental, le diremos que el programa facilitado a la computadora contenía un total de 500 órdenes, y que para que pudiera formar frases según sus propias ocurrencias, se la tuvo que dotar de una especie de elemento creador. Este elemento fue el generador de números aleatorios, del que ya hemos hablado con anterioridad. De acuerdo con el método del experimento numérico, el generador determinaba, por ejemplo, si las palabras «todo» o «ninguno» deberían ir con un nombre.

Cuando se puso a funcionar el programa por primera vez, había una gran tensión entre los presentes. ¡Una computadora capaz de formular frases! ¿Qué saldría de todo aquello?

El resultado fue el siguiente:

No toda mirada es cercana. Ninguna aldea es tarde.
Un castillo es libre y todo campesino está lejos.
Todo extranjero está lejos o un día es tarde.
Toda casa está oscura. Un conde es anaranjado.

Las oraciones parecen bastante curiosas, por no decir ridículas. Sin embargo, los programadores se sintieron bastante contentos. Al fin y al cabo, no se puede esperar que un niño que empieza a hablar, diga ya sentencias filosóficas. Además, aún se podía mejorar más la capacidad lingüística de la calculadora, se le podía informar de que, por ejemplo, las palabras «enojado» y «despacio» suelen ser aplicadas a personas, pero no a una casa. O que no dijera nada sobre el color cuando estuviera describiendo a un siervo, o a un conde. «Un conde es anaranjado.» Esta afirmación no tiene ningún sentido.

Aunque también debemos tener cuidado con este tipo de limitaciones, pues en algunas lenguas se puede decir: «el conde está morado», para indicar que está ebrio, etc.

9

QUIEN NO APRENDA QUEDARA ESTANCADO

Los cerebros electrónicos acumulan experiencias

Una buena parte de las sumas que los padres de las calculadoras electrónicas se gastan para perfeccionar a sus hijas van a parar al capítulo de los «gastos escolares». Se trata con ello de aportar enseñanzas a las computadoras. Quien no aprenda, quedará estancado. Quien no consiga hacer aprender más a sus máquinas, se quedará sentado sobre ellas, sin nada que hacer, a la corta o a la larga.

Lo cierto es que se puede hacer que una computadora aprenda. Sobre este tema ya existe una gran cantidad de tratados científicos, la mayor parte de los cuales son muy sensatos. Pero no hay todavía una computadora capaz de aprender tanto y tan bien que nos sea útil precisamente por su capacidad de aprendizaje. El motivo es muy sencillo: los seres humanos aprenden durante toda su vida, y las sucesivas generaciones han ido aumentando sus conocimientos, pero, desgraciadamente, no se sabe aún lo que ocurre en la mente de un hombre mientras aprende, de modo que no podemos utilizar lo poco que sabemos sobre el proceso de aprendizaje humano para emplearlo como base de un programa de aprendizaje para una calculadora electrónica. Por eso, la capacidad de aprendizaje de las computadoras sigue siendo en la actualidad una cuestión pri-

mitiva y esquemática, que no acaba de convencer ni siquiera a sus propios promotores.

¿Pero es que puede haber máquinas capaces de aprender? O dicho de otro modo: ¿acaso no es el aprendizaje un proceso que requiere inteligencia?

No, no necesariamente. Existen procesos de aprendizaje muy sencillos, que pueden ser asimilados sin necesidad de tener una inteligencia altamente desarrollada. Una persona que se aprenda el contenido de toda una enciclopedia, puede muy bien ser un retrasado mental (y probablemente lo es, si lo hace así); cualquier agente artístico conoce la extraordinaria memoria de algunos artistas que, por lo demás, parecen tan estúpidos como cuando vinieron al mundo. Para la computadora tampoco resulta muy difícil aprenderse treinta mil verbos irregulares en varias lenguas.

Pero, generalmente, entendemos por capacidad de aprendizaje algo más que la simple retentiva de diccionarios enteros. Con esta expresión nos referimos sobre todo a la aptitud para aprender por propia experiencia, o sea de memorizar ciertas situaciones y acciones, así como sus consecuencias, de modo que cuando nos encontremos en otras similares seamos capaces de tomar las decisiones más acertadas y correctas. Se habla entonces de «aprendizaje por medio del éxito». Las calculadoras actuales también dominan este proceso, aunque sólo dentro de los estrechos límites impuestos por los programadores.

Un ejemplo de ello lo constituye el ratón artificial del que ya hablamos en el primer capítulo. Fíjese usted en el laberinto de la figura núm. 57. Tiene el tamaño de una mesa. Las paredes intermedias están hechas de madera y son intercambiables a voluntad, para poder transformar el laberinto cuándo y cómo se quiera. Y ahora colocamos un ratón ante la entrada —por el momento un ratón vivo—, y un trozo de tocino junto a la salida.

¿Qué ocurre? El ratón huele el tocino, aunque no lo puede ver. Así pues, lo busca, valiéndose de su olfato, a través del laberinto. Si se trata de un ratón hasta cierto punto experimentado, acabará por encontrar el tocino después de dar algunas vueltas y rodeos. Si el

experimento se repite varias veces con el mismo animal, cada vez encontrará el camino correcto con mayor rapidez, hasta que al final se dirigirá hacia el tocino por la ruta más corta, sin perder tiempo en investigar ninguna de las callejuelas secundarias.

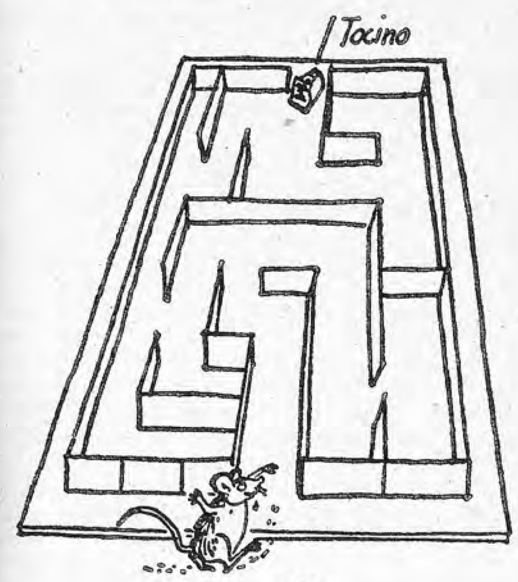


Figura 57

Si entonces cambiamos los tabiques, dando un aspecto totalmente nuevo a nuestro laberinto, el pobre ratón se hallará tan desorientado como al principio, y se tendrá que enfrentar con el mismo problema de antes. Casi en seguida se decidirá, y empezará a investigar una callejuela tras otra, hasta que, después de varios intentos infructuosos, volverá a encontrar el camino hacia la comida.

La conclusión científica de este experimento, mal visto por las sociedades protectoras de animales, es la siguiente: cuando el ratón entra en las callejuelas sin

salida, acumula experiencias y aprende de ellas. Pero una calculadora electrónica también dispone por término medio de esta misma capacidad de aprendizaje. Esto se demuestra con un ratón artificial que es como un modelo en miniatura de la computadora, y que ha sido construido precisamente para encontrar el camino que le llevará hacia la salida del laberinto. Al hacerlo,

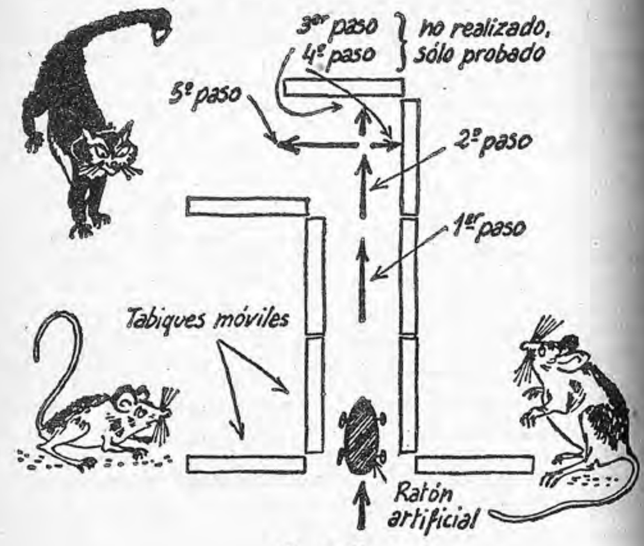


Figura 58

también disfrutamos un poco con el juego. El ratón artificial que se ve corretear de un lado a otro del laberinto no es más que un trozo de metal con aspecto de ratón. La cabeza calculadora de ese roedor, su cerebro, por así decirlo, es en realidad una pequeña máquina automática de elaboración de datos. Sus impulsos ponen en movimiento un potente magneto, que dirige a su vez al ratón artificial. En los tabiques de las paredes intercambiables de madera se han colocado unos pequeños contactos de corriente, que proporcionan a la compu-

tadora una imagen electrónica de los caminos existentes en el laberinto.

Y ahora, el pequeño animal metálico espera, junto a la entrada del laberinto, como vemos perfectamente en la figura número 58, a que hagamos funcionar su cerebro. En cuanto esto sucede, empieza a trabajar. Lo primero que averigua es si puede dar un paso hacia adelante. ¿Es factible? Sí, lo es. El ratón avanza y en la célula de memoria 1 se anota la sucesión de impulso «01», que significa «un paso hacia adelante». ¿Se puede dar otro paso en la misma dirección? Así es, en efecto. La célula de memoria 2 también se anota el «01». Después, el ratón intenta avanzar un tercer paso, pero se encuentra entonces con una tabla ante sí; el avance es imposible. En ese momento, entra en acción un subprograma, que ordena: «¡Prueba hacia la derecha!»

El ratón artificial intenta dar el cuarto paso en esa dirección. Tampoco le es posible. El subprograma le da una nueva orden: «¡Prueba hacia la izquierda!»

Así pues, el quinto paso es dado hacia la izquierda. Sí, es posible hacerlo. La célula de memoria 3 registra con cierta satisfacción: «Paso hacia la izquierda, sucesión de impulso "11".»

De este modo, el roedor mecánico, va abriéndose camino por el laberinto. De vez en cuando, se mete en un callejón sin salida. No puede avanzar, ni ir hacia ninguno de los dos lados, así es que el subprograma le ordena: «¡Prueba hacia atrás!» Entonces, el ratón artificial retrocede el espacio necesario para encontrar un hueco, ya sea a la izquierda o a la derecha, y empieza a avanzar de nuevo, partiendo de allí. Naturalmente, existe el peligro de que tome de nuevo el camino que conduce a la entrada (esto también le pasa a veces al ratón de verdad). Dicha situación se puede evitar mediante un par de manipulaciones en el programa. Cuando, por ejemplo, se le ordena al ratón metálico que, antes de dar cualquier paso, haga un movimiento hacia la izquierda, después hacia adelante, y finalmente a la derecha (y si no puede hacer esto, que retroceda), nunca seguirá un camino equivocado que le dirija hacia la entrada, a menos que, al retroceder por un callejón sin salida, esta maniobra le haga volver al punto de par-

tida. ¡Pruebe usted a realizar los mismos movimientos con ayuda de lápiz y papel!

El ratón artificial sólo necesita recorrer una vez el laberinto hasta el final para conocer el camino correcto. Cuando llega a la salida, el programa extrae de su memoria todos los pasos que conducían a los callejones sin salida y, realizando el mismo camino al revés, puede llegar directamente a la entrada. Lo que queda en su memoria es el camino más rápido y corto desde la entrada hacia la salida y viceversa. El ratón artificial aprende el camino con mayor rapidez que el ratón natural, y para ello ni siquiera necesita un trozo de tocino como señuelo.

En el capítulo anterior hablamos de calculadoras jugadoras de ajedrez que obedecían el mismo principio: después de cada jugada, actuaban como si fueran ratones artificiales, y recorrían todos los caminos que le quedaban abiertos. Después, ejecutaban el movimiento que mayor éxito prometía. También hay máquinas automáticas que juegan a las damas de esta forma (¿conoce usted el juego de las damas?; en él se utiliza un tablero con fichas blancas y negras), y que, además, aumentan sus conocimientos a cada nueva partida que juegan. Estas máquinas automáticas van registrando en sus células de memoria cada una de las jugadas, y retienen las de mayor éxito —las que cuestan muchas fichas al contrario, o las que llevan directamente a la victoria—, volviéndolas a utilizar en situaciones similares. Estas máquinas aprenden por medio del éxito. Pero los juegos de tablero suelen ser bidimensionales y las fichas se mueven sobre una sola superficie. La empresa IBM ha programado para sus calculadoras un curioso juego de damas tridimensional, en el que las máquinas ganan a casi todos sus oponentes humanos. Un juego tridimensional es algo tan grotesco, que la capacidad de imaginación humana apenas si puede abarcarlo.

También existen programas para autómatas del ajedrez con capacidad de aprendizaje. Como las reglas del juego son tan complicadas, nadie se ha atrevido aún a elaborar un programa de aprendizaje de este tipo en el hemisferio occidental. Los rusos, por el contrario,

han declarado ya hace años que disponen de autómatas del ajedrez, capaces de funcionar a la perfección y de aprender. No obstante, podemos imaginar cómo jugará un autómata de esta clase: al principio con mucha lentitud, pero después cada vez mejor y con mayor brillantez, a medida que vaya aprendiendo de los buenos jugadores combinaciones elegantes y diestras (21).

En realidad, no faltan posibilidades de utilización para las máquinas pensantes, capaces de aprender por experiencia en sus enfrentamientos con los contrarios. Los científicos casi no piensan ya en el ajedrez. Ahora se ocupan con mayor intensidad de programas estratégicos, estrechamente relacionados con el ajedrez. Una calculadora puede retener todos los detalles conocidos de las batallas libradas en los últimos 5.000 años, así como todas las características tácticas que, empleadas en ellas, condujeron al éxito. En un momento determinado se podría utilizar la información acumulada en la máquina, y sería capaz de sustituir ella sola a todo un Estado Mayor. En el Pentágono, el centro militar norteamericano, se llegó a cambiar el presupuesto de defensa, porque se deseaba obtener dinero para la creación de programas de investigación estratégica. Según se dice, los viejos generales no se sintieron muy satisfechos en tal ocasión con la competencia que les hacía la calculadora.

En el campo de la economía ya hace tiempo que se elaboran programas similares. Los servicios secretos de todos los países buscan una computadora electrónica capaz de aprender y descifrar las claves secretas del enemigo. Pero, como ya dijimos con anterioridad, aún se tardará tiempo en programar una capaz de realizar un proceso de aprendizaje a alto nivel. Por el momento, no se puede hablar de éxitos prácticos.

Por otra parte, existe desde hace años cierto tipo de computadoras que dominan y aprovechan una especie de sistema primitivo de aprender por medio del éxito, concentrado en una dirección determinada. Pero este tipo de instrumentos primitivos de aprendizaje también los encontramos fuera del campo de la electrónica. Estamos seguros de que usted, querido lector, ya los habrá visto alguna vez. Piense, por ejemplo, en el dispositivo

automático que mantiene la temperatura de su cocina a un nivel constante. O en el instrumento que pone en funcionamiento el motor de su frigorífico cuado aumenta la temperatura y ésta sobrepasa un nivel determinado. O en el dispositivo automático que pone en funcionamiento el sistema de calefacción central en cuanto la temperatura de las habitaciones desciende por debajo de los 18 grados.



Figura 59

Todos estos instrumentos trabajan según el principio del *acoplamiento de reacción*. El regulador de temperatura del sistema de calefacción pone en marcha la calefacción. Entonces, observa cuáles son las consecuencias. Sus observaciones ejercen una acción sobre la actividad del quemador, que es acoplado por reacción. Si la temperatura es demasiado alta, disminuye la fuerza de la fuente de calor, si desciende por debajo de un valor determinado, los elementos del sistema de calefacción se ponen en marcha por sí mismos, como pueden observar en la figura núm. 59. Este sistema de circulación

—actividad, observación, acoplamiento por reacción, actividad, etc.—, tiene un nombre: *círculo regulador*. Esta expresión deriva del hecho de que este tipo de sistema es capaz de regular su actividad por sí mismo.

En la actualidad ya son muy utilizadas las computadoras que, mediante un círculo regulador y un acoplamiento de reacción, ejecutan una forma sencilla de aprendizaje por medio del éxito (en el sentido más estricto se trata del principio de un esfuerzo de aprendizaje, o sea de una especie de intentos previos). Este tipo de computadoras mantienen los aviones y los barcos en el curso prescrito, observando para ello el compás y equilibrándolo de acuerdo con la ruta deseada, mediante ligeras correcciones de los mandos. También controlan la disolución de las soluciones químicas, regulan la humedad del aire y la temperatura de los invernaderos, o el tiempo de exposición de las máquinas automáticas de ampliación fotográfica, mientras que en las factorías automatizadas ocupan el puesto del jefe de control.

Quizá sepa usted que, en las industrias química y metalúrgica, existe toda una serie de fábricas que operan prácticamente sin trabajadores. Las máquinas se preocupan de hacer lo necesario, ya se trate de taladrar agujeros con la exactitud de una milésima de milímetro, filetear piezas y pulimentar superficies, como de pulverizar sustancias químicas, o pesarlas, mezclarlas, removerlas, verterlas en botellas, colocar los tapones de corcho a presión y pegar las etiquetas. Las máquinas ofrecen muchas ventajas, comparadas a los operarios humanos. Son mucho más rápidas y exactas, no se interesan por la secretaria del director, y tampoco piden aumentos de sueldo. Pero, a pesar de todo, no se puede confiar en ellas por completo, y en esto se parecen a los seres humanos. Lo que producen debe ser tan controlado como el propio trabajo del hombre.

Para estas tareas de control se emplean calculadoras electrónicas, máquinas automáticas sencillas, compuestas únicamente de dos o tres círculos reguladores, y acopladas por reacción a instrumentos de medida adecuados. Ellas se encargan de comprobar cada uno de los procesos de trabajo. Los orificios practicados son

medidos; las superficies pulimentadas son repasadas, las partes defectuosas son rechazadas y apartadas de la cadena. Si los errores se acumulan, la calculadora no se limita a rechazar las piezas, como haría un obrero, sin preocuparse por saber si a la salida de la fábrica llegarán otras en buenas condiciones, sino que se pone en comunicación con otra colega electrónica, que comprueba el funcionamiento de la maquinaria de fabricación, realizando en ella las correcciones necesarias. Sólo cuando dichas correcciones no obtienen el menor resultado positivo, no le queda a la calculadora más remedio que pasar aviso al ingeniero, sin necesidad de presentarle un informe por escrito. La propia calculadora indica dónde se ha producido el desacierto, que hay que buscar, por ejemplo, en la taladradora número tres. El ingeniero no tarda en darse cuenta de que un fallo en la alimentación de agua fría, que actúa como refrigerante, ha provocado un recalentamiento del taladro, lo que ha originado su rotura.

Los controles electrónicos pueden ser construidos para que realicen tareas mucho más complicadas, de modo que aprendan siempre algo nuevo de los fallos que se producen. También se les puede añadir otros instrumentos secundarios capaces de sustituir el taladro roto por uno nuevo, cambiando el circuito de refrigeración. El campo de trabajo de los inspectores electrónicos siempre puede ser ampliado. Se les puede entrenar para que, no sólo vigilen la fabricación de un jarabe para la tos, controlando su contenido de azúcar y añadiéndole tres cucharadas más si hace falta, sino también para que controlen las reservas de materias primas, solicitando el envío de más azúcar de Cuba o de Jamaica —según la situación del mercado—, o el de las esencias adecuadas por parte de otras industrias químicas, e incluso para que se encarguen de remitir el producto a las farmacias e investiguen las reclamaciones que se produzcan. Todo esto es posible; ya ha sido esquematizado sobre el papel y publicado en revistas especializadas. Sin embargo, a menudo se pasa por alto el hecho de que la combinación de calculadoras electrónicas capaces de realizar toda esta tarea más todos los programas necesarios para ello, haría nece-

sario gastar tales cantidades de dinero que la fabricación y venta de jarabe para la tos sólo llegaría a ser un negocio rentable al cabo de varios decenios.

Sin embargo, ya no es necesario emprender una investigación electrónica para descubrir a los pacientes que padezcan de tos. Ya hay aparatos que lo hacen: instrumentos electrónicos de diagnóstico. Estos diagnosticadores automáticos se anotan los síntomas del paciente —temperatura, pulsaciones, número de los corpúsculos blancos de la sangre, dolores, etc.—, y citan a continuación las posibles enfermedades que corresponden a dichos síntomas, presentando propuestas de medicación adecuada, ofreciendo indicaciones terapéuticas, e indicando incluso los libros y páginas de la literatura médica donde se habla de dichas enfermedades.

Pero estas máquinas sólo tendrán un valor práctico en medicina cuando hayan aprendido decenas de miles de síntomas y miles de diagnósticos. Al igual que en el caso de los autómatas del ajedrez, serán adiestradas por los mejores especialistas mundiales, para que puedan ofrecer diagnósticos correctos y corregir los resultados erróneos. Una vez alcanzado este grado de eficiencia, los diagnosticadores electrónicos tendrán el campo libre. Naturalmente, no se ha pensado en que sustituyan a los médicos. Pero para comprender la utilidad de este tipo de máquinas hay que pensar en la difícil profesión del médico de cabecera, que debe conocer todas las ramas de la profesión, y saber tanto de enfermedades oculares, infartos y ginecología, como de resfriados o huesos rotos, además de verse obligado, en ocasiones, a ser cirujanos, internistas, toxicólogos, dermatólogos, farmacéuticos y muchas otras cosas más. Sin embargo, esto es casi imposible en la práctica. En muchos casos, el médico de cabecera no puede establecer el diagnóstico correcto con la rapidez necesaria, tal y como sería deseable. Y esto es así porque no puede ordenar y relacionar con la suficiente rapidez los innumerables detalles que presenta el cuadro clínico del paciente, teniendo que consultar entonces a los especialistas o, lo que es más frecuente, buscar en sus obras de consulta, durante horas, el dato que necesita. Es aquí donde el diagnosticador electrónico le podría ser de

una gran ayuda. El médico enviaría los datos sintomáticos a una calculadora electrónica, a través de un teletipo. Dicha calculadora podría encontrarse en una clínica o en una universidad, y sería capaz de cooperar con el médico de cabecera, pues cuenta con la experiencia acumulada por cientos de especialistas médicos. La máquina comunicaría en pocos segundos sus opiniones sobre el caso. Naturalmente, el doctor buscaría entonces en sus manuales médicos, no confiando nunca en las opiniones de la calculadora. Pero ya puede usted imaginarse la gran cantidad de tiempo que le habría ahorrado su colaboración.

10

CEREBRO EN MINIATURA PARA EL HOGAR

Computadoras a medida, según nuestros deseos y posibilidades económicas

Hasta los científicos más sensatos se exaltan a la vista de las grandes posibilidades de las calculadoras electrónicas. Si damos crédito a algunos de ellos, las máquinas de información serán capaces de realizar en un próximo futuro todo aquello que puede hacer el hombre: dirigir una guerra, formular leyes fiscales y hacer películas para la televisión. Y hasta quizá sean capaces de inventar un cordón de zapato irrompible.

Pero no deseamos perdernos en la utopía. Veamos qué cosas puede realizar una calculadora en la actualidad, y qué otras podrá hacer seguramente en el futuro, si concedemos dos o tres años de tiempo a programadores y técnicos.

Empecemos por la oficina, lugar donde ya hemos visto trabajar a las computadoras. Los autómatas electrónicos para la realización de tareas comerciales son construidos ya desde 1953. Por su estructura, pertenecen a los tipos más sencillos. No se exige de ellos que hagan ningún milagro contable. Lo único que deben hacer es sumar, multiplicar y calcular intereses. Necesitan sobre todo grandes memorias para retener las cuentas y existencias de almacén, los precios de cada producto y los descuentos, tarifas de salarios, horas de trabajo de los empleados, fechas tope de envío de las

mercancías, y porcentajes de exención de impuestos por depreciación.

Como ya habrá comprendido por lo que le acabamos de decir, una calculadora electrónica de este tipo puede sustituir a todo un departamento comercial. Y así tiene que ser, porque cuestan entre cuarenta y sesenta millones de pesetas, y aún se tienen que gastar algunos millones más en la elaboración de los programas, que deben contar con decenas de miles de órdenes, y han de ser casi necesariamente nuevos para cada empresa. Además, pueden originarse otros costos cuando el personal no trata las computadoras como éstas se merecen. Las calculadoras electrónicas exigen que se les informe de todas las cuentas de entrada, albaranes de salida, detalles de los impuestos a pagar y cambios planeados, a través de tarjetas perforadas, o cualquier otro medio aceptable, pero sin excluir absolutamente ningún dato. Cuando los contables bien experimentados descubren en sus libros que se ha perdido una cuenta o una tarjeta de inventario, saben cómo salir de esta situación. Por el contrario, la calculadora electrónica no está programada para aceptar estas muestras de indolencia humana. En casi todas las empresas dotadas de maquinaria electrónica, las dificultades comienzan cuando el aprendiz Paco recuerda con todo detalle el partido de fútbol entre las selecciones de España y Yugoslavia, y olvida informar sobre las entradas y salidas diarias de un género determinado en el almacén, y cuando no hay ningún jefe superior a él que sepa por experiencia que algo se ha debido olvidar. (Figura núm. 60.) Una vez que la calculadora ha empezado a operar con cifras falsas, puede costar mucho dinero hacerla volver al camino adecuado. Encontrará usted más información sobre este aspecto en nuestra obra *Calculadora electrónica en busca de posición responsable.*

Otro problema estriba en que quienes adquieren las calculadoras tienden a creer que su máquina es infalible. Tras haber comprobado durante tres meses que ha proporcionado las cifras exactas, opinan que puede seguir trabajando igual durante toda la eternidad, olvidando que incluso la computadora es un producto hu-

mano más y que, por lo tanto, está llena de defectos. De vez en cuando se olvida algo (aunque esto no sea demasiado grave, por haberse creado o programado controles adecuados), o bien se estropea. Si ocurre esto último, puede ocasionar a una empresa considerables pérdidas.



Figura 60

Hace años apareció en un periódico suizo una advertencia dirigida a las empresas de tipo medio, aconsejándoles que no se dejaran engañar por las ansias de progreso, y calcularan con toda exactitud si valía la pena adquirir una computadora. Realmente, ocurre en muchos casos que, si se compara el costo de una computadora con el de una docena de contables, no parece que salga muy a cuenta adquirir una, pero que, a pesar de todo, es mejor disponer de una por aportar diversas ventajas, como la de actualizar continuamente la contabilidad, ya que las cuentas y listas llevadas a mano experimentan siempre un retraso de tres a treinta días. Se sabe que una empresa norteamericana adquirió una calculadora, en la que tuvo que gastar más dinero del que se ahorrraba al no pagar salario a sus

antiguos empleados. Pero dicha empresa trabajaba para el Gobierno de Estados Unidos; a partir de entonces pudo realizar sus cálculos con dos semanas de antelación, y recibir su dinero dos semanas antes. Los intereses producidos por dicho dinero durante las dos semanas, hicieron que la calculadora fuese rentable para la empresa.

Pero las buenas computadoras no sólo llevan la contabilidad. También recuerdan a sus propietarios las fechas tope de pago o de cobro. No sólo mecanografían cuentas y notas de advertencia, colocan la dirección correcta y dirigen el aviso hacia las máquinas que lo colocarán en un sobre y lo franquearán, sino que también determinan la cantidad de tubos de acero X-117 que hay en el almacén, y cuando observan que su número ha descendido demasiado redactan un formulario de pedido. No sólo anotan la llegada de treinta mil nuevos catálogos de la empresa, y que éstos deben ser pagados a la imprenta, sino que al mismo tiempo ordenan a la instalación de direcciones que escriba un sobre para cada cliente con objeto de enviarle un catálogo. Y a veces se olvidan de proporcionar a dicha instalación los suficientes nombres de clientes, de forma que puede ocurrir lo que le sucedió a un granjero de Estados Unidos hace años: recibió varios miles de catálogos de unos grandes almacenes, todos ellos dirigidos a su casa, y a su jardín, claro, porque ya no le cabían en el interior de la vivienda.

Al margen de este tipo de actividades, las computadoras pueden realizar tareas que parecen maravillas de razonamiento científico. Por la noche, mientras duermen las personas normales, y el departamento de contabilidad está tranquilo, confeccionan estadísticas de varios metros de longitud, basándose en las informaciones acumuladas en sus memorias, calculan la rentabilidad de los diversos departamentos de la empresa, confeccionan análisis de mercado, y a la mañana siguiente, cuando llega el jefe de la empresa, le presentan un diagnóstico muy bien elaborado, según el cual está dirigiendo mal dicha empresa.

Al igual que han conquistado las entidades comerciales e industriales, las calculadoras también han invadido

los bancos y las compañías de seguros, donde provocan asombro, orgullo y... amargura. Llevan automáticamente todas las cuentas; calculan los intereses, incluso con decimales; determinan los premios y tarifas de seguros, y hacen extraordinariamente difícil escamotear dinero, hasta por parte del más experimentado funcionario bancario. No obstante, un avispado director de banco demostró cómo se las puede engañar. Para ello aprendió la profesión de programador, e hizo que la calculadora transfiriera cantidades de una cuenta a otra, igualándolas después, pero cuidando de que, con cada una de aquellas transferencias, un pequeño porcentaje fuera a parar a su propia cuenta. Como los inspectores bancarios no estaban muy familiarizados con las reglas del cálculo electrónico, tardaron bastante tiempo en descubrir el segundo programa electrónico del director.

Los bancos y las empresas comerciales están muy interesados en encontrar un proceso que permita a las calculadoras electrónicas leer números y letras. En este proceso, que ya está siendo perfeccionado, la calculadora compara los signos con ejemplos escritos que se le han enseñado con anterioridad. Los signos son descompuestos en impulsos electrónicos, como si fueran una imagen de televisión.

Naturalmente, las computadoras son ideales para relacionar grandes cantidades de cifras de un modo tan hábil, que la contabilidad es, comparado con ello, como una especulación de Bolsa. Nos estamos refiriendo a la estadística. Las grandes computadoras electrónicas evalúan los numerosos datos contenidos en las hojas del censo, calculan cuántos industriales autónomos tienen un automóvil con más de 9 CV fiscales en Barcelona, y determinan la cantidad de funcionarios de Correos mayores de cincuenta años que hay en Madrid. La mayor parte de la gente se interesa muy poco por estos resultados, pero no le ocurre lo mismo a la administración de Correos, que desea saber cuánto dinero tendrá que pagar dentro de quince años en concepto de jubilación. Antiguamente, no se podían obtener estos datos de los censos, ni para el servicio de correos, ni

para quien estuviera interesado en ellos, porque nadie tenía el tiempo suficiente para extraerlos.

Los departamentos gubernamentales, incluso aquellos que no demuestran un excesivo afán por utilizar métodos ultramodernos, tienden a sentirse más o menos fascinados por las posibilidades que les ofrecen las computadoras electrónicas. En Baden-Württemberg, por ejemplo, se calculan electrónicamente casi dos millones de declaraciones de impuestos al año, con lo que se ahorran cerca de cuarenta millones de pesetas, en comparación con el método tradicional.

En Baden-Württemberg se reconocieron muy pronto las ventajas de la computadora. Ya en 1958 una «comisión de ahorro para la comprobación de la economía en la administración estatal de Baden-Württemberg», recomendó al gobierno territorial que alquilara una para averiguar y calcular los salarios de todo el personal a su cargo. La comisión explicó que la máquina calcularía todos los salarios a un costo anual de veinte millones de pesetas. Aunque esta cantidad parezca muy grande se ha de tener en cuenta que los mismos cálculos, realizados según el método antiguo, costaban al gobierno cincuenta millones.

En el caso de las calculadoras de que hemos hablado hasta ahora en el presente capítulo, se trata de instalaciones para propósitos generales, o sea que pueden trabajar con casi cualquier programa que se les presente, y son utilizables de un modo universal. Si así lo deseara, el director industrial podría emplear su computadora para valorar los datos de un censo, calcular la curvatura de un puente, o jugar con ella al ajedrez. Este tipo de máquinas cuestan de cuarenta a sesenta millones de pesetas por término medio. Pero dicho precio suele aumentar a ciento sesenta o doscientos millones de pesetas cuando se le añaden las unidades adicionales, las memorias de reserva, etc. A cambio, se dispone de una instalación bonita, versátil, adaptable, y capaz de utilizar cualquier programa, que ha sido creada para usted por técnicos que vieron coronados sus esfuerzos por el éxito, tal y como diría una buena propaganda.

En el capítulo anterior ya hablamos de los pequeños autómatas electrónicos; eran instrumentos de control empleados en la industria, que sólo están compuestos por un par de circuitos reguladores, y cuya única tarea consiste en controlar y dirigir los procesos de producción. Naturalmente, estos aparatos han sido diseñados para un propósito definido, se les ha dotado de un programa fijo, no intercambiable (como no sea a base de tenazas y nuevas soldaduras), y entre ellos los hay de pequeñas dimensiones que pueden adquirirse por unos pocos cientos de miles de pesetas.

Es comprensible que el siguiente paso adelante consista en conectar estos autómatas que controlan la producción con una gran instalación de cálculo, de programa controlado, creando así una importante fábrica totalmente automatizada, en la que todo, absolutamente todo, se desarrolle automáticamente, desde la obtención de las materias primas y su elaboración, el control de acabado y todos los detalles a él inherentes, hasta el transporte dentro de la fábrica, el almacenamiento, la venta y la contabilidad, la sustitución de las herramientas estropeadas y el pago del salario de la mujer de la limpieza (siempre y cuando este servicio no funcione también electrónicamente). Hace años que las grandes empresas han elaborado planes para automatizar departamentos enteros. Esta automatización se podría haber realizado ya en muchos casos, si no existiera un importante obstáculo. Una industria totalmente automatizada no puede cambiar su producción. Si hoy fabrica motocicletas, tendrá las mayores dificultades para fabricar cortadoras de césped al año siguiente —si ha bajado la demanda de motocicletas y desea dedicarse a esa otra nueva actividad—. Este tipo de transformación ya suele ser bastante difícil en el caso de fábricas de tipo convencional. Tratándose de empresas automatizadas, los cambios harían gastar ingentes sumas de dinero.

Un ejemplo muy instructivo nos lo proporciona la ECME (Electronic Circuit-Making Equipment), una fábrica inglesa de radios automatizada, construida con el apoyo del Gobierno inglés. Veinte computadoras conectadas entre sí dirigen todos los procesos de fabricación. Durante el acabado, los aparatos de radio son sometidos

a 50 controles automáticos. Sólo se necesitan dos hombres para vigilar toda la instalación, capaz de fabricar 1.500 radios de cinco tubos en un día.

Pero en la actualidad, ni siquiera esos dos hombres tienen necesidad de trabajar en la fábrica automática, ya que ésta ha detenido su fabricación. Construyó un total de 50.000 aparatos de radio, que se vendieron con dificultad. Mientras tanto, han pasado los años y nadie, ni del Gobierno ni de la industria privada, tiene el menor interés en invertir los millones que se necesitarían para transformar la empresa.

Por el contrario, la automatización electrónica ya ha experimentado grandes progresos en aquellas industrias que continuarán fabricando lo mismo durante decenios: los altos hornos y la industria siderúrgica.

La automatización también ha penetrado en el comercio. Esto se puede observar sobre todo en Estados Unidos, en algunos de los grandes comercios que siguen la fórmula del «sírvase usted mismo» o supermercados. Las mercancías en venta tienen una etiqueta en la que se ha impreso el precio, y que posee, además una perforación hecha de acuerdo con un determinado código. La señora Smith, que ha elegido una serie de botes de diferentes conservas, se dirige con ellos a la caja. La cajera arranca la parte perforada de cada etiqueta y la introduce en un elemento lector. El instrumento espera hasta que la gran calculadora que hay en el sótano del comercio quede libre —lo que sólo tarda décimas de segundo—, informándole después de lo que hay en las etiquetas: clase de producto y precio. La computadora hace sus cálculos y poco después unos números luminosos muestran a la señora Smith la cantidad total que ha de pagar. Ella entrega un billete, la cajera marca dicha cantidad e inmediatamente recoge el cambio. Pero quizá no tenga necesidad de pagar con dinero. Quizá sea una cliente habitual. Para ello presenta su tarjeta de crédito, con la que también está familiarizado el aparato de lectura. La calculadora también se anota la suma total, y la señora Smith recibe una cuenta total a finales de mes.

Esto es todo lo que ve la señora Smith en cuanto al

funcionamiento del proceso automático. (Figura número 61.) Pero el señor Pepperson, administrador de la empresa, ve mucho más. Todas las tardes recibe una cuenta detallada, enviada por su computadora. Si un día se han vendido demasiadas peras en conserva o gorritos de niños infantiles, la computadora así lo indica claramente, aunque deja que sea el propio señor



Figura 61

Pepperson quien reflexione sobre tal hecho. En otra cinta de varios metros de longitud, la calculadora señala diariamente aquellos productos que se están agotando y que deben ser repuestos con la mayor rapidez posible. Además, también calcula el salario de todo el personal.

Se podría pensar que ya es imposible automatizar más el proceso de la compra. Sin embargo, sí se puede. En Estados Unidos ya existen comercios que se las arreglan muy bien sin cajera. Están compuestos principalmente de grandes escaparates en los que se exponen los productos. Cada artículo tiene un número. La señora Smith, cliente habitual, posee una llave especial que

introduce en una cerradura, pidiendo el artículo que desea mediante la presión ejercida sobre un botón o marcando un número en un disco, como hacemos con el teléfono. El artículo es dirigido automáticamente hacia una ventanilla de salida, siendo colocado allí en una bolsa de compra. El precio también es calculado de forma automática y anotado en la cuenta de la señora Smith.

El señor Baker, que no es cliente habitual y no dispone de llave, debe introducir monedas en una ranura automática, para que aparezca la botella de whisky que desea por la ventanilla de salida. El cambio también lo recibe automáticamente.

Las instalaciones calculadoras que existen en estos comercios suelen ser aparatos especiales, que han sido construidos y programados para cumplir sólo con estos propósitos determinados. Estas calculadoras especiales son cada vez más frecuentes. La mayoría de ellas no son más baratas que las instalaciones de tipo general, pues deben ser planeadas y diseñadas especialmente.

Entre este tipo de aparatos también se encuentran las instalaciones de reserva —entre ellas las de IBM— de billetes para las compañías aéreas. Uno de los problemas con que éstas se enfrentaban era el de ocupar hasta el último asiento de los aviones, pero sin pasar de ahí. Además, el peso del equipaje no debía sobrepasar un determinado límite. Pero como las compañías aéreas tienen sus agencias en diferentes ciudades, en las que se venden billetes para el mismo avión con destino a una misma ciudad, como por ejemplo Nueva York, los empleados que venden los billetes en cada una de estas ciudades no podían saber con exactitud si en este o aquel vuelo aún quedaban plazas libres. Si se le negaba innecesariamente el billete a un cliente se provocaba el enojo de la dirección. Pero el enfado era del cliente cuando se le vendía plaza que ya estaba ocupada por otro. En la actualidad, este problema es solucionado electrónicamente. En la central de la compañía de aviación se instala un autómata al que están conectadas todas las agencias por medio de teletipo. Cuando la señorita Maldonado quiere volar de Madrid a Nueva York no tiene más que decir el día de vuelo que más le con-

viene. El empleado de la ventanilla, en Madrid, mecanografía en su teletipo especial el vuelo deseado. Un segundo después, la calculadora de la central le comunica si aún queda una plaza libre para ese vuelo. Si es así, se mecanografía en el teletipo el nombre de la señorita Maldonado, junto con su dirección y número de teléfono. Con ello ha quedado hecha su reserva. La señorita Maldonado recibe su billete y la calculadora de la central disminuye en uno el número de plazas libres de dicho vuelo.

Si, más tarde, la señorita Maldonado prefiere realizar el viaje otro día, o no puede hacerlo porque se siente enferma, o se suspende por motivos técnicos y todos los pasajeros deben ser recomendados a otra compañía aérea, la calculadora electrónica efectúa los ajustes necesarios.

Y ya que estamos hablando del tráfico aéreo, digamos que otro de los grandes problemas con que éste se enfrenta es la seguridad de vuelo. Cada vez resulta más complicado dirigir el gran número de aviones que aterrizan o despegan de un aeropuerto, sin que se produzcan accidentes. Cada avión debe volar dentro de una ruta y una altura determinadas. Los aparatos que llegan con retraso deben ser intercalados en el campo de aterrizaje entre los que esperan y cuando se acumulan demasiados, puede haber varios aviones que tengan que demorar su aterrizaje durante algunos minutos, describiendo círculos sobre el aeropuerto, a alturas perfectamente determinadas.

Se trata aquí del mismo problema que se presenta en una gran estación en la que entra un tren cada minuto, aunque en aquel caso es mucho más complicado, porque en el aire no hay rieles sobre los que poderse mover de noche y con niebla. Tampoco existen señales, sólo el radar y la comunicación por radio. Y otra cosa aún, que sabe hasta el menos experimentado; no se puede mantener a los aviones en el aire, como se hace con un tren mediante una luz roja. Los aparatos siempre tienen que estar en movimiento. Quien no pueda imaginarse lo que significa tener una docena de aviones dando vueltas sobre un aeropuerto, a diferentes alturas, y organizar al mismo tiempo el aterrizaje y despegue de otros

aparatos, puede pensar en un malabarista que, con los ojos cerrados, mantenga siete tazas de café y una azucarera sobre un hilo de metal, haciéndoles dar vueltas en el aire.

En el caso del tráfico aéreo, estos malabaristas están en una torre desde la que se domina todo el aeropuerto, y, cuando están más ocupados, muchos de ellos se sentirían muy agradecidos si pudieran disponer de una calculadora que solucionara con seguridad una parte de su tarea —como por ejemplo la observación y dirección de los aviones en vuelo—. En la actualidad, se están realizando intentos para desarrollar una computadora de este tipo y es muy probable que no tarden mucho en ser autorizadas.

Lo que tendría que hacer una computadora en cuanto se refiere a la seguridad de vuelo, sería una especie de regulación automática del tráfico, tal y como ya se hace en otros medios de comunicación. En el Metro de Nueva York se está trabajando para dirigir electrónicamente los conmutadores, las señales y la sucesión de los trenes. Esto ya se ha conseguido sobre una línea corta, la Grand Central Shuttle, entre Times Square y Grand Central Station, y todo el mundo se ha sentido muy contento con ello, a excepción del sindicato, que pidió que un hombre continuara permaneciendo en la cabina del conductor del tren sin conductor, al menos durante algún tiempo, a pesar de que el hombre no tendría que hacer absolutamente nada, como no fuera leer tranquilamente el periódico.

La situación ya se complica más cuando se trata de regular el tráfico urbano, que, al contrario de lo que ocurre con el suburbano, no está sometido a ningún horario. Claro que en todas las grandes ciudades hay instalaciones señalizadoras que pasan automáticamente del rojo al ámbar y de éste al verde y viceversa. Pero este tipo de automatización no necesita la ayuda de ninguna computadora; es suficiente con disponer de un motor eléctrico que lleve a cabo un control de los conmutadores. Las instalaciones calculadoras pueden hacer mucho más: son capaces de adaptar los períodos de conmutación de las señales luminosas, y con ello el flujo del tráfico a las necesidades de éste. Para ello se montan so-

bre la superficie de las calles de la ciudad unos detectores automáticos de tráfico que funcionan mediante inducción eléctrica. Cada vehículo que pasa por encima de uno de estos detectores provoca un contacto eléctrico que es comunicado a la calculadora. En consecuencia, a ésta llega un ininterrumpido censo del tráfico, correspondiente a cada una de las calles de la ciudad y puede extraer sus conclusiones, dejando vía libre en aquellas calles donde el tráfico es más denso. De este modo se obtiene un tráfico sin problemas, que se adapta con exactitud a las necesidades del momento.

Toronto, en Canadá, fue la primera ciudad que construyó un sistema de regulación de tráfico de este tipo —eso fue en 1963—. Al sistema se han conectado más de mil cruces, y cerca de 2.000 detectores de tráfico comunican sus cuentas a una computadora, del tipo UNIVAC 1108.

La empresa Siemens, entre otras, se ocupa en Europa de la regulación electrónica del tráfico, enviando computadoras y programas de dirección a Berlín, Nuremberg y Viena.

Los resultados obtenidos son atrayentes. Se sabe ahora que una calculadora podría dirigir todo el tráfico de una ciudad, de tal modo que desaparecieran las largas colas de vehículos que se forman cuando la gente sale del trabajo. La paz y la felicidad llegarían así al alma de los conductores...

Pero desgraciadamente, éste es sólo un caso ideal. La práctica ha demostrado que el verdadero obstáculo, y el más difícil de solucionar, es el propio conductor. El conductor de un vehículo no es un compañero cualificado para una calculadora. No está en situación de mantener con exactitud una velocidad determinada. Y si lo estuviera, no querría hacerlo. Se queda ensimismado en los cruces, y no arranca con la suficiente rapidez. O bien se le cala el coche justo ante un detector de tráfico, y la computadora cree entonces que la calle está vacía, mientras los vehículos forman una larga cola detrás de él.

Por lo tanto, ni siquiera la computadora puede crear condiciones ideales para el tráfico. De todos modos, ha conseguido disminuir en un treinta por ciento los atas-

cos automovilísticos que se producían en Toronto. Las obras públicas planeadas allí con este fin sólo hubieran obtenido una parte de este éxito, y habrían costado más de 2.000 millones de pesetas, mientras que la computadora costó unos 240 millones de pesetas, incluyendo los detectores y la programación.

Por algunos de los capítulos de este libro ya se desprende hasta qué punto trabajan la técnica y la ciencia actuales con las computadoras. Hemos hablado de las máquinas de traducir, y de autómatas que realizan estudios de mercado y calculan el curso de los cohetes. Las instalaciones electrónicas calculan los valores técnicos de aviones y estaciones de producción de energía, de puentes, reactores atómicos y rascacielos, haciendo lo mismo con el tiempo, las mareas, los motores de alto rendimiento y las posiciones de las estrellas. Ante una clave determinada, presentan largas listas sobre las existencias de libros en una biblioteca, calculan la velocidad de las moléculas, solucionan ecuaciones físicas con doscientas incógnitas, seleccionan miles de observaciones geológicas individuales para formar una imagen completa, y descifran textos etruscos que han dado mucho dolor de cabeza a generaciones enteras de especialistas. Todas estas tareas son realizadas por las llamadas grandes instalaciones calculadoras —por aquellas computadoras cuyo costo no baja de los cuarenta a sesenta millones de pesetas—, pero también hay computadoras llamadas medias, que se utilizan en los institutos científicos. La IBM 360/40, por ejemplo, es una de ellas. Y después existen las llamadas calculadoras pequeñas, que en cierto modo son como diminutos cerebros para el hogar y cuyo costo es de unos dos millones de pesetas. Estos pequeños autómatas de reducidas dimensiones son muy apropiados para muchas empresas comerciales en las que no se trata de obtener una gran rapidez de cálculo, ni de realizar complicadas operaciones matemáticas. Todo el mundo entendido en la materia piensa que las pequeñas calculadoras tienen ante sí un gran porvenir. Y es muy posible que entonces sean aún más baratas. Quizá no tardemos mucho tiempo en ver una en todos los grandes almacenes.

Es muy probable que el desarrollo del cálculo elec-

trónico se dirija hacia la adopción del sistema de unidades ensambladas: se adquiere el corazón de una computadora —constituido por unidad de control, generador de fase y pupitre de control— para añadirle, según los deseos y la capacidad económica del comprador, toda una serie de elementos: unidad de adición, memorias rápidas o de tambor, lector de tarjetas perforadas, y teletipo o impresora rápida. Algunas empresas ya han desarrollado calculadoras de acuerdo con este sistema, como por ejemplo la Remington con la serie del tipo Univac 9000, o la Bull con la Serie 300, la RCA con la Spectra 70, la Siemens alemana con la calculadora Siemens 4004, la General Electric con la GE 625, y la IBM con el Sistema 360, que ya ha sido citada varias veces en este libro, y que es un verdadero éxito de venta.

Algunas de estas grandes computadoras han sido especialmente construidas para ser servidas desde diversos lugares por medio de teletipos. Otras están dotadas de varios relojes electrónicos de precisión que permiten anotar el tiempo exacto empleado para realizar cada operación de cálculo (seguridad de vuelo, bancos, etc.), o bien realizar ciertas tareas en un intervalo determinado con anterioridad.

Las mayores calculadoras son capaces de realizar varias operaciones a la vez, con absoluta independencia unas de otras. En ellas se han instalado conmutadores electrónicos, que ponen en contacto y a voluntad, los diversos elementos de la computadora, de modo que puedan colaborar juntos la memoria de núcleos con la unidad de adición, la memoria de cinta con el aparato de cómputo, y la memoria de discos con el lector de tarjetas perforadas. Los autómatas más complicados pueden trabajar con varios programas al mismo tiempo, interrumpiendo las tareas menos importantes para dar prioridad a los cálculos urgentes, y comportándose como modernos directores de empresa que permiten en sus fábricas la realización simultánea de varias docenas de voluminosos pedidos.

Pero muchas empresas que sólo tienen que realizar grandes tareas de cálculo de vez en cuando, no se quieren permitir el lujo de adquirir una computadora. Así pues, disponen que el trabajo se realice fuera de la em-

presa, en un *centro de cálculo*, cosa que ya suelen hacer numerosas entidades privadas. En un centro de cálculo se dispone de una computadora altamente cualificada (a veces de varias), así como de un equipo de matemáticos y técnicos, cuyos servicios son alquilados ya sea por horas o durante la realización de todo un proyecto. Una hora cuesta aproximadamente unas 40.000 pesetas.

Entre las computadoras aún existe un grupo especial, que se halla más bien dentro de la línea de las combinaciones permanentes de ingenios mecánicos y pequeños instrumentos electrónicos de control, dotados de programas fijos. Entre ellos se encuentran, principalmente los instrumentos auxiliares utilizados en el campo médico-ortopédico: aparatos que permiten a una persona, a la que se ha amputado un miembro, disponer de una pierna o un brazo artificial, capaz de moverse como si fuera natural, incluyendo los dedos; instrumentos que conforman una imagen de todo lo que les rodea, y que, según determinados programas, la traducen en impulsos y dirigen éstos hacia la corteza cerebral de los ciegos; máquinas que, de acuerdo con determinadas señales exteriores a las que reaccionan fielmente, son capaces de influir sobre la presión arterial y la actividad cardíaca de los pacientes. Todos estos ingenios mecánicos todavía se hallan en fase de desarrollo, pero ya existen veteranos de guerra capaces de andar o asir cosas con ayuda de miembros artificiales dirigidos electrónicamente.

Los aparatos electrónicos del hogar ya están en un avanzado estado de desarrollo, aunque aún no son vendidos en serie. Pero en los laboratorios hay ya aspiradoras que, siguiendo el principio de la tortuga, que citamos al principio de este libro, avanzan por una habitación, esquivando con elegancia todos los muebles, y limpiando el suelo. Después de cumplir su trabajo, se dirigen por sí mismos al cubo de la basura para vaciar su contenido; después se pueden subir al estante, para leer la sección económica de cualquier periódico.

En los talleres experimentales de las grandes empresas hay asimismo lavadoras dirigidas electrónicamente, lavaplatos y hasta carros de servicio que recorren el

camino entre la cocina y el comedor, sin acercarse demasiado al perro o a la estatuilla valiosa. El último descubrimiento en este campo, al menos por ahora, es la cocina electrónica, un horno eléctrico en el que se reúnen los ingredientes, dentro de vasijas apropiadas. Una pequeña calculadora, a la que se ha dado las recetas en forma de tarjetas perforadas, juega a ser cocinera. Sus constructores piensan que sería muy práctico que el ama de casa marcara su propio número de teléfono,



Figura 62

eligiera una serie de cifras clave e hiciera que la máquina de cocinar preparara un plato determinado. Se selecciona y lee la tarjeta perforada de que se trate, y de las vasijas apropiadas se extraen los ingredientes necesarios —de acuerdo con unas medidas determinadas con exactitud—, para que vayan a parar a la cacerola; la carne cae del frigorífico al horno, que se enciende automáticamente; comienza a actuar entonces un agitador automático; los termostatos controlan la temperatura; los reactivos químicos comprueban la cantidad de sal, y tras un cierto período de tiempo, el asado ya está listo, y a la sopa únicamente le faltan cinco minutos de cocción. El ama de casa sólo necesita llegar a casa con puntualidad, para coger la cuchara y empezar a comer. (Figura núm. 62.)

Los dos autores de esta obra se han preocupado desde hace tiempo en meditar sobre cuál debe ser la razón por la que una persona prefiera un plato electrónico a un bistec preparado por un buen cocinero. Da la casualidad de que a los dos les gusta comer, y de que también les agrada cocinar. Finalmente, han llegado a la conclusión de que la moderna ama de casa no podrá prescindir de su cocina electrónica, pues no tendrá tiempo para cocinar porque deberá trabajar para ganar el dinero necesario con que pagar los plazos de todos sus hermosos aparatos electrónicos.

11

¿QUIEN TEME A LOS ROBOTS?

Todo puede ocurrir en el futuro

Las máquinas automáticas de reserva de plazas y las aspiradoras electrónicas serían algo muy bueno y bonito, si no supiéramos a través de ciertas películas lo que ocurrirá: un día, los robots, casi sobrehumanos, dotados de cerebros, piernas y brazos, se volverán locos y, destrozando los muros y dando gritos terribles, raptarán a las mujeres jóvenes.

Y todos quienes previeron esta situación, observarán la escena y dirán: «¡Lo veis! ¡Esta es la consecuencia de haber creado los autómatas electrónicos!»

Lo sentimos mucho, pero no llegaremos a tal punto. Las mujeres jóvenes esperarán inútilmente a los robots. Y, sin embargo, no cabe la menor duda de que la humanidad se ha creado con los robots nuevos problemas de tipo social.

Las calculadoras electrónicas y las automatización técnica de las fábricas han iniciado una revolución que se parece mucho a la Revolución Industrial del pasado siglo. Ahora sólo estamos al principio de la transformación electrónica. Pero, en contraposición a la Revolución Industrial, el nuevo desarrollo que nos lleva hacia la automatización, ha sido reconocido a tiempo. Este proceso es seguido con toda atención, y el hombre se prepara para enfrentarse a los problemas que ha creado o puede crear.

En el fondo son los mismos que surgieron en el pa-

sado siglo: el hombre es sustituido por las máquinas, ¿qué será del hombre? Pero en esta ocasión, los afectados no son únicamente los obreros. Las computadoras electrónicas penetran en casi todas las ramas profesionales; pueden sustituir a los ingenieros y a los contables, a los almaceneros, empleados bancarios, estadísticos, vendedores, directores y conductores. Dentro de muy pocos años miles de personas tendrán que buscarse una nueva profesión mediante la cual no tengan que enfrentarse con la competencia electrónica, o bien formarán largas colas para cobrar su seguro de desempleo. Muchos cientos de empleados administrativos tendrán que acudir de nuevo a la escuela para aprender a manejar a los autómatas. Decenas de miles de hábiles técnicos de tipo medio tendrán que adquirir aptitud para colaborar con sus colegas electrónicos.

En el prólogo de la obra *Máquinas pensantes*, el filósofo de Stuttgart, Max Bense, escribió: «El acontecimiento decisivo de nuestra época no ha sido el descubrimiento de la bomba atómica, sino la construcción de grandes máquinas matemáticas a las que se ha dado en llamar, quizá con cierta exageración, máquinas pensantes. Con ello, la técnica ha penetrado en nuestra vida social y espiritual con mucha mayor profundidad que lo había hecho hasta ahora. Podemos hablar ya de una nueva fase del mundo o de la civilización tecnificada.»

Estas frases fueron escritas hace quince años. Mientras tanto se ha demostrado que la opinión de Bense era correcta. Aun cuando los nuevos problemas de tipo espiritual no han sido solucionados, al menos se han reconocido a tiempo sus efectos sociales, sobre todo en lo que se refiere a la Europa occidental. Hasta ahora, la introducción de autómatas electrónicos no ha provocado un aumento del desempleo. Pero, hay que tener en cuenta que nos encontramos aún al principio de la revolución. Otro es el caso en Estados Unidos, donde un proceso de automatización incontrolado e irracional ha dejado sin trabajo a una considerable cantidad de personas.

Si nos enfrentamos a los problemas sociales tal y como se los imaginan los padres intelectuales de la auto-

matización —hasta donde son capaces de imaginarlos—, la consecuencia de la transformación electrónica no es el desempleo, sino una jornada de trabajo mucho más corta para todos. El mecánico Gutiérrez, que ahora todavía trabaja 44 horas semanales, se habrá convertido dentro de diez años en un especialista de la automatización y sólo trabajará dos horas al día, colocado ante una máquina, cuidando de que todos los robots trabajen con seguridad. Naturalmente, esto en el caso de que el señor Gutiérrez sea una persona inteligente y dispuesta a aprender. Por el contrario, para los vagos y para los desinteresados sólo habrá ocupaciones subordinadas dentro de una industria automatizada.

Pero también puede suceder que a nuestro señor Gutiérrez le ocurra algo bastante diferente. En lugar de vigilar el trabajo de los autómatas, puede estar sometido a su vigilancia.

Ya sabe usted que en casi todas las industrias, cada trabajador dispone de una tarjeta que debe marcar en el reloj automático cada vez que entra o sale de la fábrica. De este modo se sabe con exactitud el tiempo que ha trabajado a la semana, lo que sirve para calcular su salario. Como ya hemos dicho, otras empresas han introducido un sistema más moderno: el trabajador no sólo marca la tarjeta, sino que al mismo tiempo proporciona determinada información a una computadora, de modo que ésta calcule automáticamente su salario a final de mes.

También le hemos dicho que en las fábricas totalmente automatizadas todos los procesos de producción son vigilados electrónicamente. Ahora debemos añadir que este tipo de control de producción ya se ha puesto en práctica en algunas empresas parcialmente automatizadas. En ellas, cada trabajador está vigilado por un autómata que cuenta las piezas fabricadas por el hombre, controla su calidad, y anota cada uno de los errores cometidos por el trabajador. Los resultados son convertidos en cálculos de rentabilidad y de precios. De esta forma, las grandes empresas pueden conseguir una visión continua y general de la calidad del trabajo que se realiza en los distintos departamentos.

En esta fase del proceso ya es una nimiedad perfec-

cionar los dos sistemas electrónicos: el del cálculo del salario y el de control de la producción. La situación puede llegar al extremo de que los autómatas del taller informen a la calculadora del departamento administrativo, cuáles son los trabajadores que no han manejado correctamente una herramienta, estropeándola, con lo que la calculadora deduce automáticamente su precio del salario del trabajador. Y un buen día, el señor Gutiérrez puede recibir una carta perfectamente mecanografiada, expresada en estos términos:

«Estimado señor Gutiérrez:

»Hemos comprobado que el rendimiento de su trabajo ha disminuido en un 13,6 % durante el pasado mes, bajando con ello en un 2,1 % por debajo de las normas de la empresa. De las 7.365 soldaduras que realizó usted la semana pasada, 23 de ellas tenían un contacto deficiente. En otros 167 puntos de soldadura sobrepasó usted la cantidad necesaria de cinc para realizarla, superando incluso la cantidad de tolerancia de 0'05 gramos por punto de soldadura que admite la empresa.

»Teniendo en cuenta que su rendimiento de trabajo durante los pasados doce meses ha superado en un 6'91 % de media la norma de la empresa, nos abstenemos de despedirle inmediatamente, y nos limitamos a anunciarle que será usted despedido a finales del presente mes si ese rendimiento no supera al menos en un 5 % la norma de la empresa.

»Saludándole muy atentamente,

»Empresa Pérez y Compañía.
»Pedro III
»*Super-cerebro electrónico.*»

Una computadora que escribiera una carta así no sería mejor que un robot que secuestrara a las mujeres jóvenes. Pero el primer caso está más dentro del campo de las posibilidades, y además, se puede programar con mayor rapidez.

Los dirigentes de un Estado totalitario también pue-

den sentir la tentación de determinarlo todo por medio de las instalaciones electrónicas: desde el rendimiento de trabajo de la agricultura y la industria, a las órdenes que deben cumplir todos los ciudadanos. A través de las calculadoras se puede conseguir por primera vez una verdadera utilización racional de todas las personas, mediante normas de trabajo y comida, normas para dormir, divertirse, y hasta para engendrar hijos. Pero éste vuelve a ser un tema apto para los autores de novelas de ficción. Sin embargo, ¿qué ocurriría si un Estado hiciera controlar y dirigir la vida de todos sus súbditos hasta en sus menores detalles? ¿Qué sucedería si decidiera un buen día prescindir de los matemáticos que crearon los programas para las calculadoras? ¿Qué pasaría cuando ya nadie pudiera influir sobre las instalaciones calculadoras, cuando ya nadie tuviera el poder y la capacidad necesarias para sustraer a los hombres del omnipresente control ejercido por las máquinas? Al cabo de una generación se habría extinguido la resistencia espiritual del ser humano, y el régimen de las calculadoras electrónicas se habría consolidado para toda la eternidad.

O, por lo menos, eso es lo que ocurriría hasta que se quemaran los primeros transistores.

Pero aún hay otra visión del futuro mucho más utópica, a pesar de que algunos científicos la consideran posible y creen que un día llegará a ser una realidad. Ellos piensan en registrar en una calculadora electrónica toda la conciencia de una persona —o sea, el contenido de su memoria y la capacidad de pensamiento—. El hombre cuya conciencia hubiera sido copiada en la máquina, podría seguir, es decir, desarrollando en ella su pensamiento, independientemente de sí mismo, como desdoblado, por expresarlo de algún modo. Una idea loca, pero fascinante. La conciencia de los grandes hombres podría ser conservada eternamente para el mundo. Y así, por ejemplo, si el espíritu de Bismarck se hubiera podido mantener electrónicamente en conserva, se encargaría de solucionar todo el problema alemán. Una vez llegados a este punto, no sería tan difícil unir la sabiduría de varias mentes privilegiadas, convirtiéndolas en un supercerebro electrónico que podría resol-

ver todos los problemas del mundo en un abrir y cerrar de ojos, demostrar todas las leyes de la física en sus ratos libres, y pronunciar conferencias sobre ética.

En cualquier caso, somos conscientes de una cosa: nunca sabremos con seguridad si un robot conocerá las satisfacciones y penas que experimenta un ser humano. ¿Habrá alguna vez un autómata cruel o celoso? Probablemente, nunca existirá una instalación electrónica capaz de componer un poema de amor impulsado por sus sentimientos, o de encontrar una nueva receta de cocina.

Y tampoco podrá haber nunca una computadora electrónica que ría de todo corazón.

12

LA MAQUINA HUMANA CRECERA

Sobre la fatigosa ciencia de la cibernética

Hace ya tiempo que se habla de la cibernética. Quizá usted, querida señora, lea aquí este nombre por primera vez, pero los científicos lo han utilizado con frecuencia. El físico Ampère ya lo empleó hace más de un siglo; unos creen que sólo entendió por cibernética las posibilidades de dominio; otros piensan que se refería a los mandos de las recién inventadas máquinas de vapor. Hasta el antiguo Platón habló de «cibernética», refiriéndose con ello a los conocimientos necesarios para gobernar un buque.

Durante siglos, cada cual ha interpretado su significado de una forma diferente. En la actualidad, la cibernética es considerada como «la síntesis de varias disciplinas científicas, comprendidas entre la técnica y la biología, y los procesos de control y regulación». Pero aún no hay nadie que sepa hasta dónde llegan realmente sus límites. Todavía continúan las discusiones sobre qué debemos y qué no debemos comprender por cibernética. Esto es lo que convierte a esta ciencia en algo tan fantástico.

(Si desea usted leer algo más sobre el tema, hemos escrito todo un libro dedicado a él. El mismo título de la obra ya revela hasta dónde nos han llevado nuestras investigaciones: *Nadie sabe lo que es la cibernética.)*

Pero sabemos una cosa cierta: que es una de las ciencias responsable del mundo, de las calculadoras elec-

trónicas. El primero que lo pensó así, y lo formuló con claridad, fue el matemático norteamericano Norbert Wiener, quien, desde 1945, es considerado como el padre intelectual de la cibernética, y principal teórico de las calculadoras automáticas. Fueron sus grandes conocimientos los que dieron el impulso decisivo para ver en las calculadoras electrónicas, que ya por entonces funcionaban muy bien, algo más que simples máquinas de sumar y multiplicar, e hizo pensar que podían ser concebidas como «máquinas pensantes».

En cuanto al punto en que se encuentra actualmente la cibernética, y lo que entienden por ella los científicos más famosos, es mejor que nos lo diga el profesor Karl Steinbuch, director del Instituto para Proceso y Comunicación de Información, de la Escuela Superior Técnica de Karlsruhe. Steinbuch también es precavido. Tampoco él se atreve a determinar las fronteras de la cibernética. Se limita a exponer con aproximación aquello que abarca esta ciencia:

«Entre los elementos contitutivos de la cibernética se encuentran:

»a) La teoría de los sistemas de control;
»b) la teoría de la información, y
»c) la técnica del proceso de información, entre cuyas instalaciones más importantes se hallan las calculadoras electrónicas de programa dirigido.

»Aun cuando los conocimientos obtenidos por los investigadores cibernéticos proceden en principio de la técnica, y sólo se refieren a ésta, los resultados conseguidos a través de ellos son tan ampliamente útiles, que hasta han permitido adentrarse más profundamente en los sistemas orgánicos —utilizables, por ejemplo, por biólogos, psicólogos y fisiólogos—; de la misma forma, sociólogos y economistas se beneficiarán en el futuro de los resultados obtenidos por esta nueva rama de la investigación.»

Las relaciones entre los aparatos técnicos y los organismos vivos son especialmente sorprendentes. Cuando el frigorífico se calienta demasiado y su termostato

pone en funcionamiento el motor frigorífico, estamos asistiendo a un proceso de regulación técnica que pertenece al campo de la cibernética. Cuando el hombre siente demasiado calor y suda para que baje la temperatura de su cuerpo, a través del vapor que se escapa por esas pequeñas gotitas que salen de sus poros, estamos asistiendo a un proceso de regulación en un organismo vivo. La correspondencia existente entre el mecanismo del frigorífico y el hombre que suda, es uno de los campos por los que más se interesa la cibernética.

Cuando una chinche —desde luego viva— se arrastra hacia la luz, utilizando como guía la incidencia de los rayos de luz sobre sus ojos, y cuando la artificial del profesor Wiener actúa del mismo modo, haciendo que su mecanismo la dirija hacia la fuente de luz, también estamos presenciando dos procesos por los que se interesa mucho la cibernética.

Cuando un animal primitivo busca entre el sol y la sombra el lugar cuya temperatura le conviene más; cuando un precio se regula por sí mismo, de acuerdo con la ley de la oferta y la demanda; cuando un circuito eléctrico oscilatorio se sitúa a sí mismo en un valor determinado, mediante un acoplamiento de reacción están sucediendo cosas que pertenecen al campo de la cibernética.

Las calculadoras electrónicas son «modelos cibernéticos» ideales, aunque esto no estuvo claro ni fue importante para sus primeros constructores, hasta que Norbert Wiener empezó a pensar en la cuestión. Las posibilidades de estos autómatas electrónicos concuerdan con los campos que el profesor Steinbuch designó antes como «elementos constitutivos de la cibernética»: son capaces de efectuar procesos de regulación, y se ocupan de la transmisión y del procesado de información.

Por lo tanto, ya no es nada asombroso que la cibernética vea mucha relación entre las calculadoras electrónicas y los organismos. Existe, por ejemplo, cierta similitud entre los hilos eléctricos de una computadora y las fibras nerviosas orgánicas, que, digámoslo de una vez y con tranquilidad, son los nervios del ser humano. Según han podido determinar los biólogos, los nervios son, a fin de cuentas, simples líneas eléctricas. Están

compuestos de cadenas de diminutos elementos galvánicos, capaces de transmitir los impulsos de la corriente eléctrica, tal y como puede hacer una cadena de albañiles que se pasan los ladrillos de unos a otros. Existe en la actualidad una teoría —que aun cuando no deja de ser discutida, tampoco ha sido refutada—, según la cual los pequeños elementos nerviosos sólo conocen dos posibilidades de comportamiento: estar cargados o descargados eléctricamente. Si esta teoría fuera cierta, el lenguaje de nuestros nervios también sería «sí, sí..., no, no», y entonces trabajarían de acuerdo con un código binario, al igual que la mayor parte de las computadoras. La imagen de la flor que llega al ojo y pasa al cerebro; la sensación de un apretón de manos; el dolor que se siente en el consultorio del dentista; el pensamiento..., todo sería transmitido según un sistema muy similar al que se emplea para transmitir la corriente de información por los hilos de una calculadora electrónica.

Las células del cerebro y de la médula espinal también están compuestas —y esto es seguro— de esos diminutos elementos eléctricos, y por todo lo que se sabe hasta ahora reaccionan igual que los circuitos del mecanismo calculador de una computadora electrónica. De todos modos, los circuitos del cerebro humano deben ser mucho más complicados que los de la más perfeccionada calculadora. Parece cierto que el cerebro no establece ninguna distinción entre las células del mecanismo calculador, las de la memoria y las conductoras. Utiliza todas estas células, con una indiferencia sublime, para tal o cual propósito.

Además, todo indica que el cerebro humano es superior a una calculadora, porque en el reducido espacio de que dispone es capaz de acumular unos 10.000.000.000 (diez mil millones) de elementos de circuito, mientras que en una calculadora del tamaño de una habitación no se han podido instalar hasta ahora más de 100.000 a un millón de micromódulos. De todos modos, en la construcción de calculadoras se advierte la tendencia a colocar cada vez más elementos en un espacio más pequeño. A pesar de todo, aún tardaremos mucho tiempo en acercarnos siquiera a la gran economía de espacio reinante en el cerebro humano.

Los científicos han establecido paralelismos entre la capacidad de memorización del cerebro humano y la de los núcleos de memoria de una calculadora. Pero estas comparaciones son inútiles, porque existe una diferencia básica entre ambos. La memoria electrónica almacena información de acuerdo con direcciones, en cada una de las cuales siempre se encontrará un dato determinado (si éste no fue cambiado caprichosamente). Por el contrario, la memoria humana no conoce las direcciones. De acuerdo con el principio de la asociación, almacena sus datos en cualquier sitio de una red, ni mucho menos planificada, compuesta de relaciones y comparaciones. Por eso, la memoria humana es mucho menos eficiente que la electrónica, aunque, por otro lado, puede establecer muchas más relaciones entre los diversos elementos que contiene. Así pues, el «mecanismo calculador» humano puede realizar conexiones intelectuales a una escala numérica que no puede ser alcanzada tan fácilmente por una computadora.

En lo que se refiere a la rapidez, la calculadora es superior al hombre en todos los sentidos. La corriente se mueve por los hilos de una computadora a una velocidad de unos 300.000 kilómetros por segundo, mientras que en los nervios humanos sólo avanza 100 metros en dicho tiempo. Este índice de conducción, comparativamente lento, es la razón por la que un ser humano se «conecta» con mucha mayor lentitud que un cerebro electrónico, aun cuando piense de una forma muy concentrada. Esta relativa lentitud de pensamiento del hombre, también le hace inferior frente a la calculadora en otros muchos aspectos. Al hombre no le es posible absorber conscientemente más de 30 bits de información por segundo. Sólo por ello, la cantidad de conocimientos de los que podrá disponer con cierta seguridad al final de su vida, se halla notablemente limitada; nunca podrá haber asimilado más de unos cincuenta mil millones de bits. Una calculadora, por el contrario, puede absorber un millón de bits en un solo segundo, a través de la cinta magnética. Por eso, cincuenta mil millones de bits son para ella una cantidad casi risible, pues pueden pasar por un aparato de televisión en unos treinta minutos. La comparación es bastante deprimente. ¿Qué

es el hombre pensante al final de una vida madura! ¡Treinta minutos de emisión de un programa de televisión!

Comprenderá ahora que, cuando al principio del segundo capítulo, dijimos que el mundo puede ser considerado como una instalación compuesta de informadores, no se trató de una afirmación gratuita. Los teóricos de la información consideran así a cualquier persona.

Después de todo, se tardó bastante tiempo antes de llegar a la idea de que el concepto de «información» puede dar de sí mucho más de lo que esperan de él los técnicos correspondientes. Las informaciones han sido transmitidas desde que los primeros rebaños de animales emitieron sonidos de advertencia. El ser humano ha utilizado informaciones codificadas y transformadas desde hace milenios, entre las que se cuentan las señales de fuego y humo empleadas por los antiguos pueblos. La información transmitida eléctricamente es conocida ya desde hace más de un siglo. Pero sólo desde hace unos años se ha pensado que también estamos transmitiendo una información cuando el cerebro le ordena al pie: «¡Avanza un paso!» Naturalmente, con esto se plantea la cuestión de cuál es en realidad la diferencia existente entre las diversas clases de informaciones, y si no sería posible construir instrumentos o modelos capaces de imitar el sistema de procesado biológico de la información. Estos modelos son la zorra electrónica citada en el primer capítulo, la chinche y las tortugas, o el autómata que juega al ajedrez.

Hace algunos cientos de años se creyó que el hombre podía comprender el mundo y a los propios hombres gracias a los principios mecánicos. Sólo se veía al ser racional como un simple modelo mecánico. «¡No he descubierto ningún alma!», informó alegremente Rudolf Virchow después de diseccionar un cuerpo humano. Pero no se tardó en ver los límites de este mundo puramente mecánico. Y así, el hombre se acordó de la energía y declaró: «¡El ser humano es un estado energético!» En la actualidad, hemos vuelto a avanzar un paso más. Ahora se dice: «¡El hombre es un ser construido de informaciones, lleno de informaciones e impulsado por informaciones!»

¿Hemos llegado así al objetivo final?

Si hemos alcanzado el punto en el que el hombre es considerado principalmente como una suma de informaciones, como un caso cibernético ideal; si, además, consideramos las máquinas electrónicas de información como un tipo superior de modelo cibernético, se nos plantea inmediatamente la siguiente cuestión: ¿Es el proceso electrónico de información un modelo del proceso humano de información? ¿Llegará el día en que un autómata electrónico sea capaz de pensar como piensa un ser humano?

Los científicos dicen que es posible, al menos en teoría. Pero hasta hoy no existe ni remotamente una máquina capaz de procesar las informaciones, tan universal y soberanamente como lo hace el hombre. Y tampoco la habrá en un futuro más o menos próximo. Quizá no sea posible construirla nunca, porque es muy probable que el intelecto humano no esté capacitado para descubrir la naturaleza de los ingeniosos circuitos que son la característica más genial del cerebro humano.

Por otra parte, ya ha visto usted que las calculadoras electrónicas son capaces actualmente de realizar considerables cálculos comerciales y económicos, ¿y quién se atrevería a decir que el economista o el industrial no estaba utilizando su cerebro cuando, como ser humano, tomó parecidas decisiones?

Veamos otro ejemplo: la empresa IBM de Estados Unidos ha preparado un programa que determina por sí mismo si es cierto o erróneo cualquier teorema de geometría elemental. Con otras palabras: la máquina así programada demuestra las verdades geométricas por su propia cuenta. Pero el matemático Blaise Pascal fue considerado con razón como un ser humano muy bien dotado e inteligente, que ya cuando era niño podía demostrar los teoremas geométricos...

Es comprensible que casi todas las personas experimenten una sensación desagradable cuando se les dice: «¡Allí hay una máquina que piensa!» Si, además, se demuestra que la máquina puede pensar con mayor rapidez y seguridad que el hombre, la reacción es de una profunda indignación. En realidad, la mayor parte de los argumentos que se esgrimen contra las máquinas

pensantes no proceden del campo de las ciencias exactas, sino que son la consecuencia de un rechazo emocional, porque pensamos que no puede ser lo que no debe ser.

Pero como ya hay instrumentos que se comportan de una forma inteligente, al igual que la zorra, la tortuga, los autómatas que juegan al ajedrez, etc..., y como por otro lado se debe pagar un cierto tributo a nuestros



Figura 63

sentimientos, se ha inventado la idea de la *inteligencia instrumental*. Ahora, la cuestión ya no es: ¿Puede pensar una máquina?, sino: ¿Qué similitudes existen entre la inteligencia humana y la instrumental?

A pesar de este piadoso término atenuante de «inteligencia instrumental», debemos desconocer cuál es el objetivo final de toda la investigación cibernética, y hacia dónde nos llevarán en último término las chinches, las zorras y las tortugas artificiales: hacia una máquina capaz de pensar; hacia una máquina que imite a los seres humanos. (Figura núm. 63.)

Todavía no se ha descartado el viejo sueño del homúnculo.

13

EPILOGO PARA EL ESPECIALISTA

Este epílogo va dirigido a los expertos que leyeron el libro hasta llegar aquí. A los procesadores de datos, tan familiarizados con el tema que podrían corregir cada una de nuestras palabras, en menor escala que a los técnicos e ingenieros dedicados a otras especialidades, así como a los matemáticos y sociólogos, en especial, a aquellos que están trabajando o se proponen trabajar bajo disciplinas profesionales que les exigen considerar con el mayor escepticismo todas aquellas publicaciones técnicas y científicas escritas a nivel popular.

Los dos autores de este libro hemos aprendido a razonar partiendo de hechos matemáticos y técnicos. Sabemos muy bien adónde podríamos ir a parar si tratáramos de representar los hechos científicos en términos no científicos. En los libros que hablen de la ciencia en lenguaje popular se pueden encontrar multitud de errores impropios de una buena literatura especializada; desde exposiciones incomprensibles y susceptibles de dar lugar a juicios equivocados, hasta monstruosas especulaciones pseudocientíficas.

Sin embargo, estamos convencidos de que también tiene que haber libros técnicos y científicos a nivel popular, y afirmamos que no existe ningún hecho científico incapaz de ser descrito de una forma científica, aunque somos lo suficientemente honrados como para aceptar que, en tal caso, sólo se tratará de una descripción a grandes rasgos, y que ésta nunca será completa. En un caso así, la tarea del escritor consiste en mostrar los

aspectos primordiales, sin dejarse atraer por lo más espectacular, que a menudo no tiene tanta importancia.

La buena literatura científica popular es algo necesario. Es evidente que en nuestra era, predominantemente científica y técnica, la persona no especializada también debe tener la oportunidad de informarse acerca de los hechos, a menudo vitales, que la ciencia y la técnica le presentan. Y no debe hacerlo superficialmente, sino con la suficiente profundidad como para tener la posibilidad de reflexionar sobre ellos y formar su propio juicio. Es algo que deben aceptar todos los científicos que sean conscientes de su responsabilidad y no se encierren en una torre de cristal.

Esto se debe aplicar, principalmente, a todo aquello que esté relacionado con la elaboración electrónica de datos. El profano tiene derecho a saber, y en un lenguaje comprensible, de qué lado le llegarán los «vientos de la automatización» y qué se debe esperar de ella. El propósito de este libro ha sido aportar algo a ese conocimiento. Ha pretendido, además, ayudar a destruir esa peligrosa idea mítica que se ha formado alrededor de los «cerebros electrónicos», ofreciendo las cosas desde su justa perspectiva, en beneficio de una observación sobria y clara.

Una descripción popular, que no presuponga el conocimiento de hechos científicos por parte del lector, debe ser expuesta sobre una base mucho más amplia que la simple y breve exposición especializada. Esto nos ha obligado a descartar muchas cosas que nos habría gustado incluir. Así, por ejemplo, hemos eludido voluntariamente todo el complejo tema de las calculadoras analógicas, y el de los propios modelos cibernéticos sólo ha sido tratado brevemente. Nos parecía más importante describir con cierto detalle las funciones de las máquinas y programas, para crear en la conciencia del no especialista un fundamento compuesto de hechos capaces de ser comprendidos con relativa facilidad, y sobre el que puede construir una personal estructura de pensamiento, que esté de acuerdo con su fantasía. Esperemos que, a la vista de los datos expuestos en este libro, algún que otro lector sienta la necesidad de introducirse más profundamente en un campo tan interesante, esti-

mulante y rico en hechos e ideas como apenas si existe otro.

Pero el erudito debe tener en cuenta que ninguna de las páginas del presente libro ha sido escrita con ligereza, aun cuando el lenguaje utilizado no sea el más correcto desde el punto de vista científico; que cada simplificación y cada uno de los hechos descartados, fueron objeto de una profunda reflexión crítica, y que mientras se escribía el libro se mantuvieron amplias y a menudo duras discusiones con especialistas de numerosas ramas de la ciencia, todo lo cual facilitó en cierto modo el trabajo que posteriormente se realizó con la pluma y el papel.

NOTAS

(1) El tema de la «traducción automática», que parece contar desde el principio de la elaboración de datos con grandes posibilidades concretas, todavía es objeto de fuertes discusiones. Por un lado, se considera que la traducción automática de textos de un lenguaje a otro ha tenido y tiene muy poco éxito, hasta ahora, y que tampoco lo tendrá en el futuro. En consecuencia, se están desarrollando numerosos proyectos de investigación en este campo, sobre todo en Estados Unidos y en la URSS. En la República Federal Alemana tampoco se permanece en la inactividad. Existe un artículo de H. Schnelle y G. Engelen, que ofrece una buena visión sobre el estado actual de la investigación; se titula «Traducción mecánica» y ha sido impreso en la obra *Elaboración no numérica de información,* editada por R. Gunzenhäuser, en Springer, Viena y Nueva York, 1968. No vamos a narrar aquí la historia de la traducción automática, porque el citado artículo lo hace mejor que nosotros.

Estos trabajos han costado mucho dinero hasta ahora, sin haber obtenido por ello ningún éxito decisivo. De todos modos, no podemos pasar por alto la existencia de una serie de programas de traducción, como el descrito en nuestra obra. Así pues, el problema de la traducción no parece ser insoluble. Lo que parece evidente es la imposibilidad de elaborar un programa de tipo general capaz de traducir cualquier texto.

Pero cuanto más nos limitemos a lenguajes especializados —como ciertos lenguajes técnicos muy particulares—, cuanto menos papel jueguen las interpretaciones múltiples del vocabulario, y cuanto más intensiva-

mente nos ocupemos de la transformación de las relaciones gramático-estructurales, tanto más prometedor parece ser el éxito en toda esta problemática. Por eso podemos contar ya con la posibilidad de que aparezcan algunas traducciones que, aunque no sean absolutamente perfectas, resulten útiles y, en cualquier caso, eviten la utilización de obras de consulta. La verdadera tarea del traductor consistirá entonces en dar una forma elegante a este tipo de traducciones. La consulta se puede mecanizar, pero la traducción exije algo más.

Lo mismo se puede decir de otras muchas aplicaciones de la elaboración de datos, como ocurre por ejemplo con el diagnóstico médico, que también exige un proceso de «consulta» muy complicado. Esto último es lo que puede hacer una computadora. Curar al enfermo ya es otra cuestión. Para eso siempre se necesitará al médico.

También se alzan voces críticas respecto al tema de la traducción automática. Y no nos referimos a las procedentes de las filas de esos filósofos que, dejándose guiar por la idea de que no puede ser lo que no debe ser, consideran sospechosa toda traducción mecánica, sino más bien a los juicios emitidos por los procesadores de datos que se han enfrentado en la práctica con esta problemática. En su obra *El mito de la máquina pensante,* Mortimer Taube se ha planteado la cuestión de cuáles son los grandes problemas de la elaboración de datos que pueden ser considerados como solucionables, por haber sido formulados ya como problema (aunque su planteamiento puede ser falso en ocasiones), y para ello expone argumentos de mucho peso relacionados con la traducción automática, a la que considera dentro del campo de los problemas aparentes de la elaboración de datos.

El futuro nos mostrará las posibles delimitaciones que aparezcan en este terreno, y qué se podrá esperar de una computadora traductora.

(2) En la primera edición de esta obra atribuimos a Blaise Pascal el honor de haber construido la primera máquina calculadora mecánica, de acuerdo con lo afir-

mado por todo el mundo especializado. De Wilhelm Schickard, cuyo aparato era más perfecto que el de Pascal —el de éste sólo podía sumar—, sabíamos únicamente que fue matemático en Tübingen y un amigo del astrónomo Kepler.

Pero hace algún tiempo se descubrió en el desván del Ayuntamiento de Tübingen la máquina calculadora de Schickard, o dicho mejor, los planos de construcción de la misma, en los que constaba que habían sido diseñados en el año 1630. La máquina ha sido reconstruida y es capaz de calcular sin dificultad. En la actualidad está expuesta en el Museo Kepler de Weil, cerca de Stuttgart.

(3) Si se desea seleccionar una carta determinada de entre 32 elementos (naipes), el número de decisiones elementales necesarias para hacerlo se puede obtener mediante el procedimiento de dividir progresivamente esos elementos en dos alternativas. Si tenemos 32 elementos, esto sólo se puede hacer cinco veces, porque

$$32 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^5$$

O, expresado de otro modo:

$$5 = \log_2 (32) \qquad \text{medido en bits.}$$

Si tenemos que definir un elemento determinado entre N elementos, se aplica lo siguiente:

$$i = \log_2 (N) \qquad \text{medido en bits.}$$

Supongamos, por ejemplo, que se trata de designar una de las letras de las 26 latinas de que está compuesto nuestro alfabeto. Para ello necesitaríamos:

$$i_{lat} = \log_2 (26) \text{ bits} = 4.700 \text{ bits.}$$

En consecuencia, una letra contiene 4,7 bits de información, suponiendo que cada elemento aparezca en el lenguaje con la misma y exacta frecuencia. Si, como ocu-

rre en la práctica, no es éste el caso, y los elementos aparecen con diversos grados de probabilidad, se utiliza en la teoría de la información la célebre fórmula de Shannon: si $p(x_i)$ es el grado de probabilidad en que aparece el elemento x_i, su contenido de información es:

$$I_i = log_2\, p(x_i).$$

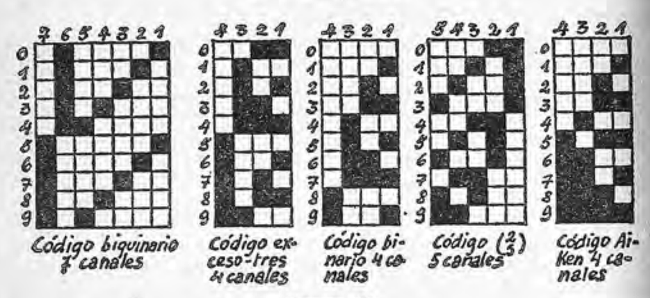


Figura 64

Por lo tanto, el contenido medio de información de un signo se calcula con la siguiente fórmula, que también procede de Shannon:

$$H = -\Sigma\, p(x_i)\, log_2 p(x_i)$$

C. Shannon publicó esta fórmula por primera vez en 1948, en su trabajo «The Mathematical Theory of Communication», fundando con ello la verdadera teoría de la información. Uno de sus mayores méritos consiste en haber convertido el concepto de información en una magnitud mensurable, elevándolo al rango de categoría científica.

(4) Se necesitaría todo un libro para ofrecer una visión completa sobre todos los códigos utilizados en la práctica. En su obra *Manual de la elaboración de información* (Editorial Springer, Berlín, Göttingen, Heidelberg, 2.ª edición, 1967), K. Steinbuch indica 23 versiones, simplemente para representar los diez dígitos en código binario. En la figura núm. 64 se expone una

representación gráfica de los códigos más importantes (cada recuadro en negro significa un 1, y cada blanco un 0).

Estos códigos son llamados «códigos binarios decimales». Como ejemplo de código alfa-numérico, que puede ser utilizado tanto para letras como para números, se da uno de siete canales como complemento del de teletipo, tal y como lo utiliza la IBM para su computadora 1401 (en realidad se trata de un código de seis canales, pues el séptimo sólo se utiliza para comprobaciones. Para la comprobación de código, véase también las páginas 68 y 69, en el capítulo «Uno por uno ya es demasiado difícil»). Si el número de 1 que hay en los seis canales de información es par, el séptimo canal recibe un 1, y un 0 en caso contrario. Para realizar la comprobación de código, el número de unos siempre debe ser impar en los siete canales. Al bit del séptimo canal se le llama *parity check bit*.

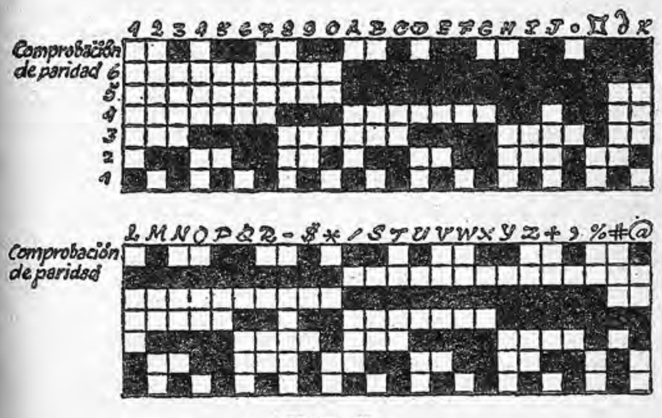


Figura 65

Como vemos en la figura núm. 65, este código es idéntico al binario para los dígitos 1 al 9, en los canales 1 al 4, lo que permite realizar cálculos binarios (véanse las páginas 70 a 73, en el capítulo «Uno por uno ya es demasiado difícil»). De hecho se podrían representar 128

símbolos en 7 canales, pero entonces ya no tendríamos posibilidad de realizar la comprobación de que hablamos. Un código en el que se definen menos símbolos de los que son posibles, es llamado *redundante*. Los capaces de ser comprobados siempre deben serlo.

En las calculadoras modernas —como, por ejemplo, en la IBM 360—, se suelen recopilar 8 bits en lo que se llama un *bit*. En este bit se pueden codificar los símbolos y cifras normales, de acuerdo con un «código BCD», o bien se recopilan 4 bits, y se almacena una cifra en cada uno de ellos, de acuerdo con el código binario.

La IBM 360 tiene el bit como unidad de memoria básica. En este caso, cuatro bits forman una *palabra*, y dos bits una *media palabra*.

(5) Cuando las memorias de entrada y salida sólo entregan o reciben sus informaciones a través de cintas magnéticas intermedias, se habla de un *off line system*. Tiene la ventaja de que ninguna unidad más lenta que la cinta magnética puede dificultar la velocidad de cálculo de la computadora. El *off line system* es preferido sobre todo en el campo comercial en el que se manejan numerosos datos individuales, mientras que en el campo científico, donde no tiene tanta importancia la inclusión y obtención de datos en comparación con el tiempo de cálculo, y en cambio se desean obtener resultados parciales y transformar datos durante el propio proceso de cálculo, se prefiere trabajar con un *on line system* (con memorias de entrada y salida directamente conectadas con la calculadora).

En la historia de las computadoras hubo una época en que las grandes calculadoras no tenían memorias de entrada y salida; sólo eran capaces de escribir y leer en cintas magnéticas. Estas eran impresas por medio de calculadoras más pequeñas. Así, por ejemplo, la gran computadora IBM 7090 tenía subordinada a menudo varias calculadoras más pequeñas, del tipo IBM 1401, que utilizaban el *off line system*. Ellas se encargaban de comprobar los datos de entrada que se entregaban al gran sistema y los imprimían en la cinta,

preparando y entregando para su impresión los datos de salida.

En la actualidad, el problema se soluciona de otro modo. Las calculadoras modernas están construidas de tal forma que son capaces de desarrollar varias tareas al mismo tiempo, debido a que la parte central de la máquina es mucho más rápida que los instrumentos periféricos acoplados. Una calculadora de este tipo puede trabajar con varios programas. Mientras que, por ejemplo, el programa 1 pasa los datos de las tarjetas perforadas a la cinta magnética, en una parte del tiempo que se necesita para leer una tarjeta perforada, la calculadora puede desarrollar una parte del programa 2, en la que, por ejemplo, se elaboran datos leídos con anterioridad. Mientras uno de los resultados parciales es impreso sobre una cinta, una parte del programa 3 puede tener preparada una línea de impresión. Mientras esta última es escrita, la parte central de la computadora se vuelve a ocupar del programa 1, y así sucesivamente. Pero este desarrollo rapidísimo y complejo del cálculo *(multiprogramming)* presupone la creación de un adecuado y complejo programa de dirección. Este procedimiento sustituye al *off line system.* Sólo se trabaja con una calculadora, utilizándola al máximo y de forma óptima.

(6) La estructura descrita aquí del mecanismo calculador sólo es válida para las llamadas computadoras digitales; esto es algo que no debemos olvidar, aunque también debemos tener en cuenta que la gran mayoría de las computadoras pertenecen a esta categoría. El nombre procede de *dígito* (= paso); estas calculadoras elaboran las cifras que deben relacionar como si se tratara de pasos de cálculo, hasta cierto punto en forma de cuentos (porque no se puede representar de un modo absoluto el valor 1 ⅓, y debemos conformarnos con una sucesión más o menos larga de valores digitales detrás de la coma decimal 1'3333333333...).

Por el contrario, las llamadas *calculadoras analógicas* no conocen los pasos de cálculo, sino simples valores numéricos (por lo que también pueden repre-

sentar el valor 1 ⅓, elaborándolo en esta misma forma). Para realizar los cálculos se sirven de modelos de intento o de la analogía: trabajan con magnitudes físicas —longitud, intensidad de corriente, tensión, velocidad, etcétera—, análogas a los valores numéricos.

Una calculadora analógica es la regla de cálculo; muy sencilla y ampliamente extendida (funciona sin ayuda electrónica), representa los valores numéricos por medio de escalas de longitud. Las calculadoras analógicas electrónicas se sirven preferentemente de las leyes de la corriente eléctrica, como, por ejemplo, de la ley de Ohm, $T = I \times R$ (tensión = intensidad por resistencia). Expresándolo de una forma muy simplificada, se puede sumar considerando las cifras como valores de resistencia, mezclando después la resistencia total de acuerdo con la fórmula $R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$ Se multiplica considerando uno de los multiplicandos como una resistencia, eligiendo para el otro la adecuada intensidad de corriente, y leyendo después en el voltímetro cuál es la tensión necesaria para dicha corriente, que corresponde al producto de la intensidad por la resistencia.

Un ejemplo más complicado es el *círculo eléctrico oscilante* (o sistemas compuestos de varios círculos oscilantes). Un círculo oscilante se puede representar matemáticamente mediante las llamadas ecuaciones diferenciales. Bajo determinadas condiciones eléctricas, que pueden ser consideradas como los valores iniciales de una ecuación diferencial, su comportamiento corresponde al de la solución de este tipo de cálculo. De este modo se pueden resolver ecuaciones diferenciales, integrales, etc. Pero los círculos eléctricos oscilantes de la calculadora analógica también pueden ser considerados como modelos para determinar otros fenómenos físicos, que asimismo se pueden representar mediante ecuaciones diferenciales, como ocurre, por ejemplo, con las oscilaciones de los planos de sustentación de los aviones. Este último tipo de problemas, tan complicados que, a menudo, su solución exacta no puede ser encontrada mediante métodos matemáticos, puede, en cambio, ser reproducido en los círculos eléctricos oscilantes de las calculadoras analógicas. En consecuencia, la programación de éstas no está basada en órdenes (véase el capí-

tulo «Programando con música»), sino en el acoplamiento conjunto de grupos individuales de función (miembros diferenciales).

Frente a una calculadora digital, la computadora analógica es un aparato más sencillo y, por lo tanto, más barato, aun suponiendo no se la maneje a mano, sino que esté automatizada y se le acoplen las unidades de entrada y salida, las memorias, y otros accesorios similares. Su gran desventaja es que nunca alcanza la exactitud de una calculadora digital.

En este libro no podemos tratar la estructura de una calculadora analógica, pues se diferencia mucho de la de una digital. Se lee con frecuencia que la desemejanza entre ambos tipos de cálculo es como la existencia entre el medir (analogía) y contar (sistema digital). Pero ésta es una diferenciación bastante superficial. En realidad, la disimilitud es fundamental: la calculadora analógica sólo sigue las leyes de la física, mientras que la computadora digital sigue únicamente las de la lógica.

(7) La primera calculadora automática satisfactoria fue una computadora de relés, la Z 3 de Konrad Zuse (Alemania, 1941). La Z 3, madre de todas las calculadoras electrónicas, fue destruida en Berlín por las bombas, durante la guerra. Zuse hizo construir más tarde un aparato similar, guiándose por los planos originales, y lo mostró en 1962 en el congreso de elaboradores de datos, celebrado en Munich. En la actualidad se puede contemplar dicha reconstrucción en el Museo Alemán de dicha ciudad.

En la obra *Cálculo con máquinas,* de W. de Beauclair, se incluye una detallada narración de la historia de la elaboración de datos (Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1968).

(8) El flip-flop es un circuito biestable o un multivibrador biestable, que experimenta dos situaciones de equilibrio. Un impulso emitido a través del circuito de entrada es suficiente para invertir la situación. En la mayor parte de los casos, un flip-flop está constituido

por dos tubos o transistores. En contraposición al miembro negador, y a los circuitos Y u O, el flip-flop es un circuito activo, que no sólo convierte, sino que proporciona energía. Por eso, los flip-flops son utilizados a menudo para regenerar los impulsos que han perdido parte de su fuerza al haber pasadò por varios circuitos básicos. (Figura núm. 66.)

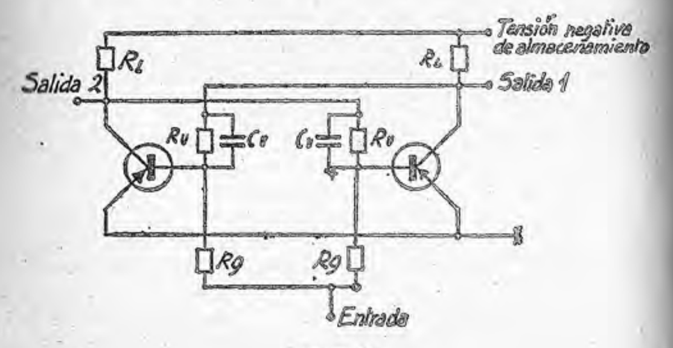


Figura 66

(9) Para ser exactos debemos hacer notar que la calculadora ER 56 (de la Standard Elektrik Lorenz), cuya estructura técnica hemos elegido para que nos sirva como ejemplo en nuestras explicaciones, no es un aparato moderno, sino hasta cierto punto clásico. Fue construido en 1956 y sirvió por aquella época como modelo, continuando siéndolo muchas de sus partes. Pero desde entonces han aparecido computadoras mucho más modernas, rápidas y compactas. Porque con las calculadoras electrónicas ocurre exactamente igual que con los aparatos de televisión o los automóviles.

Al preferir la ER 56 a otros modelos más nuevos, lo hemos hecho por ciertos motivos: su estructura es mucho más clara y sencilla que la de sus sucesoras, las cuales, aun siendo más efectivas, tienen una estructura bastante más complicada, cuyos detalles son a menudo secretos industriales.

Por eso, al igual que un automóvil de 1956 puede ser tomado como ejemplo explicativo de lo que es un coche actual, también podemos tomar la calculadora ER 56 como prototipo de las modernas computadoras electrónicas. En cualquier caso, esto nos parece una ventaja desde el punto de vista didáctico.

Una elocuente muestra del nuevo desarrollo que se ha producido en el mercado de las computadoras es el sistema de la IBM 360. Dicho sistema que, una vez completo, abarca unos diez tipos de máquinas (desde el pequeño aparato hasta la gran calculadora), utiliza la técnica del micromódulo (véase la pág. 19). Los micromódulos son circuitos miniaturizados en los que varios circuitos básicos han sido construidos en forma de una unidad (a la que se llama circuito básico integrado), y que suele tener el tamaño de 1 cm^2 aproximadamente. En un buen circuito de este tipo existen de 15 a 25 elementos constitutivos (transistores, resistencias, condensadores), en un milímetro cuadrado de espacio.

En comparación con otras máquinas, la serie IBM 360 ofrece una capacidad de memoria de trabajo casi doble (véase el capítulo «Toda memoria es magnética»). Allí se puede operar con sistemas muy amplios, que facilitan la programación y el manejo de la máquina (véase el capítulo «Programando con música»), y racionalizan mucho el funcionamiento práctico de una computadora. La totalidad del sistema 360 está construido de tal modo que todos los modelos están dotados de lenguaje de órdenes por unidades, de forma que, cuando se acoplan los aparatos accesorios adecuados, en cada máquina del sistema 360 puede haber un solo y mismo programa. Por otra parte, estos aparatos accesorios pueden ser intercambiados dentro de cada sistema, de acuerdo con el de unidades ensambladas.

La idea del intercambio de programas y aparatos accesorios no es nada nuevo, pero el sistema 360 la materializa consecuentemente por primera vez. Al final del libro, el lector encontrará unas cifras características de cada uno de los modelos.

El sistema IBM 360 (en la actualidad se han insta-

lado muchas calculadoras de este tipo, que han ido sustituyendo poco a poco a las máquinas más antiguas) ha influido decisivamente sobre el mercado de las computadoras. Los demás fabricantes también han aceptado la idea de construir este tipo de calculadoras, pero, además, han tomado como modelo la estructura y, sobre todo, el desarrollo de las órdenes del sistema IBM 360. Así, por ejemplo, la RCA ofrece la familia SPECTRA 70, que en parte también es construida por Siemens bajo licencia, y ha sido completada y distribuida en Alemania bajo el nombre de SIEMENS 4004. La Remington dispone de cuatro miembros de la familia UNIVAC 9000. La NCR ofrece toda una serie de calculadoras con el nombre de CENTURY. Sin embargo, todos estos sistemas son similares al de la IBM 360 en cuanto se refiere a su estructura, de modo que, bajo ciertas condiciones, hasta se pueden intercambiar programas entre ellos. Considerándolas entre sí, las calculadoras son como una gran familia.

Las memorias de gran velocidad, que en la actualidad están a disposición de las familias de calculadoras, permiten conseguir una utilización muy económica de las computadoras. Además, han contribuido a introducir un servicio mucho más sencillo. Respecto a ellas, también se habla de «tercera generación», para expresar que siempre se trata de un proceso unitario. De todos modos, este concepto deja bastante que desear.

(10) Claro que el tiempo de fase no nos da la medida de la velocidad de una calculadora o de una conexión, ya que no expresa nada sobre cuántos bits son necesarios para solucionar una tarea determinada. El generador de fase de la ER 56, por ejemplo, emite 100.000 impulsos por segundo, mientras que el de la Z 22 emite 140.000. Y, sin embargo, la ER 56 calcula con velocidad unas treinta veces mayor que la Z 22.

En cuanto al proceso de fase, o sea a la introducción de ésta en la acción del circuito, se lleva a cabo mediante circuitos Y, que conducen la información a una

entrada y la fase a la otra. Dicha información sólo podrá ser obtenida en el momento en que aparezca la fase correspondiente.

(11) Desde luego que, dando a la máquina un número suficiente de circuitos, también se pueden realizar operaciones de cálculo muy complicadas. Pero ocurre que no vale la pena hacerlo así. La extracción de raíces, por ejemplo, se necesita tan pocas veces, que no tiene sentido incluir un circuito especial para ese propósito. Es preferible elaborar un programa que, aun necesitando más tiempo de cálculo, resulta mucho más barato. Las llamadas «matemáticas prácticas o numéricas» conocen en la actualidad métodos suficientes como para solucionar todos los procesos matemáticos mediante las cuatro reglas básicas: «sumar», «restar», «dividir» y «multiplicar». Estos métodos ya eran conocidos antes de la invención de las calculadoras automáticas, pues también se les necesitaba para las máquinas de cálculo convencionales.

Siempre y cuando no hayan sido desarrolladas para unas necesidades determinadas, todas las calculadoras electrónicas pueden sumar y restar, pero muy pocas pueden multiplicar y dividir. Las que se emplean para solucionar problemas de tipo comercial no pueden multiplicar y dividir mediante circuitos, ya que dichas operaciones son relativamente raras y pueden ser solucionadas mediante programas adecuados. (Sobre los programas, véase el capítulo «Programando con música».)

Todo aquello que está incluido en circuitos en una calculadora es llamado *hardware,* en contraposición a *software,* con que se designa todo aquello que es programado.

(12) La diferencia entre un número representado en un código, y un número binario es más fundamental de lo que parece a primera vista. Mientras que un código ($^n/_m$) contiene mucha información accidental (la coordinación de cifras y las combinaciones de código son indiferentes), el sistema binario se muestra siste-

máticamente de acuerdo con la representación decimal de las cifras.

En el sistema decimal, el número 104 significa:

$$\begin{aligned} 104 &= 1 \times 100 + 0 \times 10 + 4 \times 1 \\ &= 1 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 4 \times 10^0 \\ &= 1 \quad 0 \quad 4 \end{aligned}$$

Las cifras están estructuradas por potencias de 10. Cada potencia sólo puede aparecer como máximo nueve veces en un número. Cuando no hay potencia también se debe indicar mediante un cero; de modo que únicamente se necesitan 10 signos numéricos exactos.

Quizá se puede preguntar por qué el número 10 juega un papel tan importante. Desde el punto de vista matemático no tiene ninguna razón de ser. Se pueden crear sistemas numéricos útiles con más o menos de diez símbolos, como, por ejemplo, uno de 8, basado en potencias de 8. El límite inferior se encuentra en los dos signos. En el caso de que se trate de un sistema de dos, los matemáticos suelen elegir los signos 0 y 1, llamándole entonces «sistema binario». Los números de este sistema están basados en potencias de 2, y el número convencional 11 sería el siguiente:

$$\begin{aligned} 11 &= 8 + \quad 2 + 1 \\ &= 1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 \\ &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \\ &= 1011 \end{aligned}$$

Los que no sean matemáticos pueden asombrarse por el hecho de que un mismo número pueda ser escrito de varias formas diferentes. Podemos utilizar el dinero como comparación. ¡Un dólar es igual a 60 pesetas! Luego, el valor de un número no depende de la forma que tiene dicho número. También podemos utilizar la numeración romana como comparación (pudiendo hacer notar como curiosidad que los romanos no conocían el cero, de modo que era muy difícil calcular con su sistema. Inténtese, por ejemplo, sumar los nú-

meros MDXCVI y MDXXCII, sin convertirlos en números arábigos. ¡Y no hablemos de la multiplicación!).

El sistema binario se caracteriza por su gran sencillez. Las reglas de cálculo para la tabla de multiplicar se reducen a lo siguiente:

$$0 \times 0 = 0$$
$$0 \times 1 = 0$$
$$1 \times 0 = 0$$
$$1 \times 1 = 1$$

La desventaja del sistema es que las grandes cifras ocupan mucho espacio y son difíciles de memorizar. El número 73, que en el sistema decimal sólo consta de dos signos, se escribe 1001001 en el sistema binario, o sea que precisa siete.

En realidad, el «0» y el «1» se escriben «O» y «L». Pero en las publicaciones no estrictamente matemáticas, como ésta, se prefiere la primera forma.

(13) El sistema binario indujo a incluir en el mecanismo calculador un flip-flop de suma para cada uno de los 35 números —o para los que sean—, y a conducir cada dígito por un canal separado. Esto representa un gasto considerable en líneas y circuitos, pero al mismo tiempo se obtiene una gran rapidez de cálculo. A las máquinas que disponen de un canal para cada dígito se les llama *calculadoras paralelas.* En oposición a ellas se encuentran las *computadoras seriales,* en las que todos los dígitos son dirigidos sucesivamente por un solo canal, siendo elaborados uno tras otro. Una computadora de esta clase es mucho más barata que una paralela, pero trabajan 35 veces más lentas.

En un código no binario de cinco canales, en el que se quieran representar números de siete cifras, también sería posible trabajar con 35 (5 × 7) canales. Pero en general, en estas computadoras se procesa serialmente una cifra tras otra, en números que tienen muchas. Sin embargo, dichas cifras son dirigidas paralelamente en

cinco canales. A este tipo de sistemas se les llama *casi-paralelos* o *semi-paralelos.* Como ejemplo podemos citar los tipos más pequeños de la serie IBM 360. En ellos, una palabra está compuesta de cuatro bits. Desde luego que éstos son elaborados sucesivamente, pero cada uno de los bits que componen el bit es dirigido paralelamente.



Figura 67

(14) En la actualidad, el desarrollo nos lleva claramente hacia la memoria de discos, que ya ha desplazado casi por completo a la de tambor, y que ya está sustituyendo a las de cintas. Desde luego que los discos son mucho más caros que la cinta, pero también son mucho más flexibles, pues entonces no se depende de la sucesión de las informaciones memorizadas.

(15) La lavadora moderna (en nada parecida a lo que representa la figura núm. 67), es un buen ejemplo de máquina automática de programa controlado. En general, disponen de una especie de reloj automático que gira por sí mismo a intervalos regulares, aproximadamente cada minuto y medio. Cada posición introduce un nuevo proceso de lavado. La máquina puede ser

operada de acuerdo con las siguientes órdenes programadas:

Marcha	M
Admisión de agua hasta el nivel	A
Bombeo de agua al exterior	B
Rotación del tambor	R
Calor	C
Espera hasta alcanzar la temperatura programada	T
Centrifugado	Ctr.
Alto	Al.

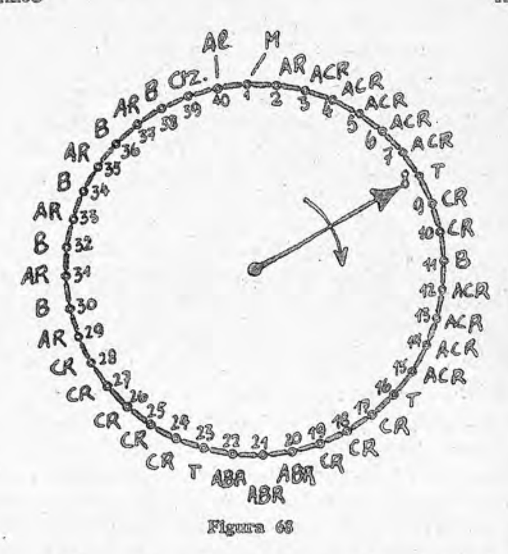


Figura 68

Si se pudiera observar el curso del reloj sobre una circunferencia numerada, tendríamos una imagen igual a la representada en la figura núm. 68. Lo que hay escrito a lo largo de la circunferencia es un pequeño programa. De todos modos, las lavadoras sólo pueden ser programadas dentro de determinadas condiciones, pues únicamente reaccionan ante programas que sigan un esquema relativamente estable.

(16) El número de direcciones que se tienen que dar por orden, es utilizado a menudo para efectuar una clasificación de las calculadoras electrónicas.

Las llamadas *máquinas de una dirección* sólo necesitan una sola dirección por orden. Estas máquinas van colocando una instrucción tras otra en la memoria hasta que llega un «alto» o un «salto» que interrumpe el proceso, para seguirlo en otro lugar.

En el caso de las *máquinas de dos direcciones* existen dos tipos; en uno de ellos, la segunda dirección indica dónde está la orden siguiente (a la que se llama *dirección subsiguiente);* en el otro tipo, la segunda dirección informa sobre dónde se encuentra el segundo operando necesario para realizar la operación *(dirección de operación).* Las computadoras que tienen dos direcciones de operación, como, por ejemplo, la IBM 1401, no disponen a menudo de registro de cálculo accesible al programador.

En las *máquinas de tres direcciones,* muy raras, se trabaja con dirección subsiguiente y dirección de operación.

También se conocen los sistemas mezclados, como en la IBM 360, en la que varía la longitud de las órdenes, dependiendo de si necesita dos, una o ninguna dirección. Estos sistemas son más caros, pero permiten aprovechar óptimamente el espacio de memoria.

(17) En las computadoras clásicas, el impulso de instrucción cumplida tiene la función de comunicar a la unidad de instrucción que se ha cumplido una orden. Ello hace que dicha unidad se ocupe a continuación de la siguiente del programa. Una orden sigue a otra. Por eso se habla de «calculadora con desarrollo lineal de órdenes», o de *calculadoras lineales.*

En las computadoras modernas, el impulso de instrucción cumplida inicia un proceso mucho más complicado. Primero interrumpe el desarrollo del programa *(program interrupt).* La unidad de instrucción se ve obligada entonces a saltar a otro programa especial en el que se investiga el origen y el carácter del impulso de instrucción cumplida, determinándose sobre todo

cuál es la prioridad de la orden de que procede. En el caso de que ya espere una orden con mayor grado de prioridad, la última tiene que esperar.

Por ejemplo, mientras que en la calculadora lineal tienen que esperar todos los demás agregados de la computadora hasta que se ha leído una tarjeta perforada, en las computadoras modernas la unidad de instrucción indica al lector de ellas que cumpla su función, para ocuparse a continuación e inmediatamente del siguiente programa, hasta que allí aparezca una orden que inicie la realización de un trabajo (que también puede ser el de leer otra tarjeta perforada) con la duración suficiente como para que la unidad de instrucción pueda ocuparse del tercer programa, o hasta que se haya leído la tarjeta perforada del primer programa y el impulso de instrucción cumplida vuelva a llevar este primer programa a la unidad de instrucción.

A esta posibilidad de trabajar al mismo tiempo con varios programas, se le llama *multiprogramming*.

En la actualidad, el *program interrupt* juega un papel muy importante, pues con su ayuda se puede hacer trabajar a muchos agregados de la calculadora al mismo tiempo, pero sobre todo porque el sistema que dirige todas estas funciones dispone de un importante instrumento para conseguir una utilización más económica de la computadora, haciéndose cargo de muchas funciones que anteriormente debía ejecutar el servidor de la misma.

Si desea leer más al respecto, vea la obra *Calculadora electrónica en busca de posición responsable*, de Lohberg/Lutz (Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1966).

(18) El hecho de que los números puedan ser positivos o negativos se soluciona mediante un dígito que se coloca al número y que sirve como advertencia. El 1 significa «más» y el 2 «menos». En consecuencia, los números de siete cifras con los que calcula la ER 56 sólo tienen en realidad seis cifras. Para el caso de que no sean suficientes estas seis cifras —o el número normal de cifras de una computadora—, las calculadoras

deben disponer de las instalaciones adecuadas para duplicarlas *(doble longitud de palabra)*. Si, por ejemplo, la ER 56 hace las sumas con la instrucción 35, en lugar de utilizar la instrucción 45, normal para la suma, será posible entonces trabajar con números que tengan el doble de cifras (trece, con símbolos como prefijo).

Al igual que ocurre con las calculadoras convencionales, en las automáticas tampoco se define el lugar que ocupa la coma decimal, el cual debe ser calculado aparte. En este caso, la coma decimal es pensada durante todo el proceso de cálculo, aceptándose que se encuentra en un lugar determinado, y hablándose entonces de *coma decimal fija*. Pero este tipo de decimales fijos son muy poco flexibles para la realización de cálculos científicos. En tales casos se prefiere trabajar con máquinas que permitan el cálculo con *comas decimales flotantes* (como ya hacía el histórico Z 3, de Zuse). La base de la coma decimal flotante es el llamado sistema semi-logarítmico, tal como se utiliza en física. Veamos un ejemplo: no se escribe 314,7, sino $0{,}3147 \times 10^3$. Por el exponente se puede ver dónde está situada la coma. En las calculadoras que utilizan las comas decimales flotantes se tiene en cuenta todo esto y mediante la transformación del exponente se puede hacer «flotar» la coma durante todo el proceso de cálculo. En la ER 56 el número 314,7 con coma flotante aparece (¡con doble longitud de palabra!) como:

1314700000053

El 1 colocado en primer lugar significa más. El exponente 3, sumado al número 50, aparece como 53 en los dos últimos lugares. Este 50 añadido (llamado *característica)* es un simple truco que permite realizar cálculos con exponentes negativos (10^{-7} aparecería en forma de 43). En consecuencia, la posible extensión de números se extendería, mediante la coma flotante y la característica, del 10^{-50} al 10^{49}.

(19) En la actualidad, una computadora dispone de programas (proporcionados por el constructor) que faci-

litan la programación. Se trata de los llamados programas de traducción, que vierten el lenguaje simbólico a lenguaje mecánico. Cuando el programador formula su programa simbólico sólo da nombres a cada una de las direcciones. El programa de traducción le adscribe por sí mismo unas cifras.

A los programas de traducción que se ajustan mucho al lenguaje mecánico se les llama *assembler*.

Además, existen los llamados *lenguajes superiores*, por medio de los cuales se puede programar, sin preocuparse por las características particulares de la computadora, facilitando así la programación de ciertos grupos de problemas. Con ALGOL Y FORTRAN se pueden programar sobre todo los problemas matemáticos y técnicos, mientras que con COBOL se programan especialmente las tareas comerciales. El lenguaje superior más reciente se llama PL/1.

Actualmente, la programación en lenguajes superiores ya casi se ha convertido en algo natural. Los *assembler* sólo jugarán un papel subordinado en el futuro.

(20) Allí donde aparecen grandes problemas, es indispensable trabajar con diagramas de desarrollo y de bloque: como se llama la forma de diagrama menos elaborado. Cuando está bien estructurado, el de desarrollo muestra toda la dinámica de un proceso.

En la mayor parte de los casos, el *analista* dibuja un diagrama de bloque en colaboración con el comerciante, el especialista en organización o el científico. Después, determina el espacio de memoria y dónde deben estar situados el programa y los datos. El próximo paso corre a cargo del programador jefe, que se encarga de transformar el diagrama de bloque en uno de desarrollo. A continuación, el pogramador confecciona la lista de órdenes, de acuerdo con el programa de desarrollo y un codificador se encarga de traducir las órdenes al lenguaje mecánico.

Naturalmente, la división de trabajo entre el analista, el programador jefe, programador y codificador, es muy fluida. Depende mucho de la formación de cada uno de ellos. En general, el programador jefe cuenta

con una experiencia de tres o más años de trabajo con las calculadoras, mientras que el codificador es o bien un ayudante o un aprendiz de programador que está haciendo sus primeras prácticas. Finalmente, programador y codificador elaboran juntos un ejemplo con el que se comprueba el funcionamiento del programa ya terminado. Este ejemplo de prueba exige mucho trabajo de reflexión, porque debe prever el funcionamiento de todas las partes del programa.

Se parte de la hipótesis de que cada orden necesita por término medio una hora de tiempo para ser elaborada, partiendo desde la planificación de los grandes sistemas, hasta la terminación del programa, incluyendo su comprobación. Un programa que, por ejemplo, abarque la contabilidad del almacén, y las disposiciones de compra de mercancías, comprende unas 15.000 órdenes. Podemos deducir por ello cuánto esfuerzo (y cuánto dinero) supone un programa de este tipo.

Los que constan de 100, 1.000 y 10.000 órdenes, caracterizan, según los usos actuales, los tres tipos de programadores, de acuerdo con las personas que los realizan, que son: «aprendiz», «oficial» y «maestro».

(21) En 1769 se oyó hablar por primera vez de un artificio autómata que jugaba al ajedrez, pero del que pronto se afirmó —y probablemente con razón—, que en su interior ocultaba a un enano. En 1912 se construyó otro mecánico cuyo juego se limitaba a una final entre torre y rey (por parte de la máquina) contra el rey (por parte del jugador humano).

Con la aparición de las computadoras electrónicas, se puso nuevamente de actualidad el juego automatizado del ajedrez, y se confeccionaron *programas para final de juego*. Comoquiera que una partida absorbe mucho tiempo, la máquina debe limitar su análisis de la situación a un período determinado, sin poder sobrepasarlo. Alan M. Turing dio *pesos* a las figuras, convirtiendo las posiciones ocupadas por éstas en *funciones de peso*. A las situaciones en que las posiciones de juego de ambos contendientes eran equilibradas las llamó

situaciones de alto, partiendo de las cuales deducía los próximos movimientos del autómata.

Sobre el tema del ajedrez también existe un artículo en la ya citada obra *Elaboración no numérica de información* (Editorial Springer, Viena-Nueva York, 1968). El artículo ha sido escrito por K. Fischer y H. J. Schneider y se titula «La máquina que juega al ajedrez».

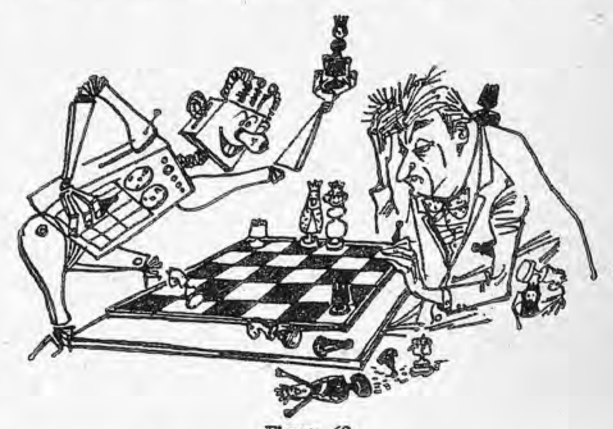


Figura 69

Los intentos más recientes se han limitado a realizar ensayos de juego sobre un tablero más pequeño (6 × 6 cuadros), alcanzándose buenos resultados. En la actualidad, se pueden obtener programas de ajedrez en Estados Unidos, que se encuentran más allá de la capacidad de un jugador medio, pero que son derrotados por los maestros. La decisiva desventaja del programa es que sigue necesitando un espacio de tiempo relativamente grande, que suele ser hasta de una hora por movimiento. Sin embargo, es razonable confiar en que, dentro de un próximo futuro, dispondremos de programas de ajedrez que apenas podrán ser derrotados por el ser humano, sobre todo si utilizan las experiencias adquiridas en las partidas en que participan. Ya se han hecho algunas pruebas en tal sentido. (Figura número 69.)

BIBLIOGRAFIA

ANSCHÜTZ, H.: *Kybernetik, kurz und bündig*. Vogel-Verlag, Würzburg, 1967. (Rigurosa introducción de orientación matemática.)

ASHBY, W. R.: *An Introduction to Cybernetics*. John Wiley & Sons, New York, 1956. (Científico; comprensible.)

BEAUCLAIR, W. de: *Rechnen mit Maschinen*. Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1968. (Exposición comentada de la historia de las computadoras.)

CUBE, F. V.: *Kybernetische Grundlage des Lernens und Lehrens*. Klett-Verlag, Stuttgart, 1968, 2.ª edición. (Interesante trabajo científico.)

CHERRY, C.: *Kommunikationsforschung- eine neue Wissenschaft*. S. Fischer Paperback, Hamburg, 1963. (Introducción, trad. del inglés.)

CHURCHMAN, ACKOFF, ARNOFF: *Operations Research*. Edición alemana en R. Oldenbourg, Wien-München, 1961. (Científico.)

FLECHTNER, H. J.: *Grundbegriffe der Kybernetik*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1966. (Obra de iniciación científica, muy exacta y amplia.)

GANZHORN, K. y WALTER, W.: *Die geschichtliche Entwicklung der Datenverarbeitung*. Verlag für Wissenschaft und Leben, 1966. (Buena visión general.)

GERWIN, R.: *So rechnen Elektronen*. München, 1962. (Obra iniciadora, fácil de leer.)

GUNZENHÄUSER, R.: *Spieltheorie und Planungsrechnung*. Verlag Schnelle, Quicknorn, 1965. (Obra introductoria, de fácil lectura.)

— *Nicht-numerische Informationsverarbeitung*. Springer-Verlag, Wien-New York, 1968. (Científico; trata toda una serie de problemas básicos.)

HAUFF, V.: *Wörterbuch der Datenverarbeitung.* Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1966. (De lectura fácil.)

IBM Systems Journal: Autbau des Systems 360. Edición alemana de abril de 1965. (Excelente exposición del sistema de la IBM 360.)

KNÖDEL, W.: *Programmieren von Ziffernrechanlagen.* Springer-Verlag, Wien, 1961. (Amplia y ambiciosa introducción.)

LOHBERG, R. y LUTZ, Th.: *Elektronenrechner sucht verantwortliche Position.* Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1966. (Tratado científico-popular sobre la utilidad de la elaboración de datos.)

— *Keiner weiss, was Kybernetik ist.* Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1968. (Exposición científico-popular de la cibernética.)

LUTZ, Th.: *Der Rechnerkatalog.* Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1966. (Recopilación por siglas de las cien calculadoras electrónicas más importantes.)

LUTZ, Th. y HAUFF, V.: *Programmiertibel.* Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1968, 3.ª edición. (Introducción comprensible en los problemas de la elaboración de datos.)

McCRACKEN, D. D.: *Digital Computer Programming.* John Wiley & Sons, London, 1957. (Obra iniciadora de tipo básico.)

NEMES, T.: *Kybernetik Maschinen.* (Traducción del húngaro.) Verlag Berliner Union, Stuttgart, 1967. (Estricto, amplio, legible.)

NEUMANN, J. V. y MORGENSTERN, O.: *Theorie der Spiele und wirtschaftliches Verhalten.* Physica, Würzburg, 1961. (Básico; científico.)

NEUMANN, J. V.: *The Computer and the Brain.* Yale University Press, New Haven, 1958. (Científico.)

ROWENSKI, S., UJOMOW, A., UJOMOWA, J.: *Maschine und Gedanke.* Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin, 1962. (Introducción a la cibernéitca desde el punto de vista ruso.)

SCHENEIDER, R.: *Computer sinnvoll nutzen.* Econ-Verlag, Düsseldorf-Wien, 1966. (Visión de conjunto, de fácil lectura.)

SHANNON, C. E. y WEAVER, W.: *The Mathematical Theory of Communication.* University of Illinois Press, Urban, 1949. (Científico.)

STEINBUCH, K.: *Automat und Mensh.* Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1961. (Científico, comprensible.)

— *Taschenbuch der Nachrichtenverarbeitung.* Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1967, 3.ª edición. (Obra científica de consulta.)

— *Die informierte Gesellschaft.* Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1966. (Amplia exposición de las técnicas de información y su historia.)

— *Falsch programmiert. Deutsche Verlagsanstalt,* Stuttgart, 1968. (Obra crítica; vale la pena leerla.)

TAUBE, N.: *Der Mythos der Denkmaschine.* Rowohlts Deutsche Enzyklopädie, tomo 245, 1966. (Polémico, interesante.)

TURING, A. M.: *Computing Machinery and Intelligence.* Mind 59 (1950) C. 236, págs. 433-460. (Artículo científico.)

VAJDA, D.: *Einführung in die Linearplanung und die Theorie der Spiele.* R. Oldenbourg, München, 1960. (Su lectura exige conocimientos matemáticos básicos.)

WIENER, N.: *Cybernetics (Control and communication in the animal and the machine).* John Wiley & Sons, New York, 1962, 2.ª edición. Editado en alemán en 1962 por la Econ-Verlag, Stuttgart. (Científico; interesante sobre todo desde el punto de vista histórico.)

ZEMANEK, H.: *Elementare Informationstheorie.* R. Oldenbourg, München, 1959. (Obra de introducción, muy comprensible.)

LAS CALCULADORAS ELECTRONICAS MAS IMPORTANTES

Tipo	IBM 360/91	CDC 6600	IBM 7094
En activo desde	Enero 1967	Setiembre 1964	Abril 1964
Alquiler medio mensual en millones de pesetas	11,2	6	6
Tiempo de adición en microsegundos	0,6	0,6	1,4
Memoria de trabajo (capacidad máxima)	4 millones bits aprox.	132.000 palabras aprox.	32.000 palabras
Representación en cifras	bits de 8 canales (alfa)	binaria	binaria
Longitud de palabra	1 signo	60 bits	36 bits
Tarjetas perforadas, entrada (tarjeta/minuto)	1.000	1.200	250
Salida	500	250	100
Cintas perforadas, entrada (signo/segundo)	1.000	1.000	—

Tipo	IBM 360/91	CDC 6600	IBM 7094
En activo desde	Enero 1967	Setiembre 1964	Abril 1964
Salida	—	110	—
Impresora rápida (líneas/minuto)	1.100	1.000	150
Aparatos de cinta	sí	sí	sí
Memoria de discos, capacidad máxima por lote	7,25 millones bits	500 millones de bits	324 millones de palabras
Tiempo de acceso (segundos)	0,18	0,27	0,18
Otras memorias secundarias	Tambor, tarjetas magnéticas	Tambor, gran memoria de núcleos	Tambor
Notas	El mayor modelo de la familia de calculadoras IBM 360. Longitud de palabra variable y fija	Diez calculadoras periféricas desarrollan tareas de entrada y salida *on-line*	Ya no se fabrica. Ha sido sustituida por los tipos del sistema IBM 360. Las calculadoras periféricas son programables

Tipo	GENERAL ELECTRIC 625	UNIVAC 1108	SIEMENS 4004/55
En activo desde	Diciembre 1964	1965	Diciembre 1966
Alquiler medio mensual en millones de pesetas	4	3,2	2
Tiempo de adición en microsegundos	3	0,74	9,72
Memoria de trabajo (capacidad máxima)	262.000 palabras aprox.	131.000 palabras	530.000 bits aprox.
Representación en cifras	binaria	binaria	bits de 8 canales (alfa)
Longitud de palabra	36 bits	36 bits	1 signo
Tarjetas perforadas, entrada (tarjeta/minuto)	900	900	666
Salida	300	300	300
Cintas perforadas, entrada (signo/segundo)	500	400	400

Tipo	GENERAL ELECTRIC 625	UNIVAC 1108	SIEMENS 4004/55
En activo desde	Diciembre 1964	1965	Diciembre 1966
Salida	150	110	100
Impresora rápida (líneas/minuto)	1.200	922	750
Aparatos de cinta	sí	sí	sí
Memoria de discos, capacidad máxima por lote	200 millones de bits	—	7,25 millones de bits
Tiempo de acceso (segundos)	0,116	—	0,1
Otras memorias secundarias	Tambor, tarjetas magnéticas	Tambor	Tambor, tarjetas magnéticas
Notas	La calculadora ha sido construida para poder elaborar varios programas al mismo tiempo (*Time-sharing*= tiempo compartido)	Sucesora de la calculadora UNIVAC 1107. Util para tareas temporales	Calculadora de la serie RCA SPECTRA 70 vendida en Alemania por SIEMENS. Mayor calculadora de la serie S 4004. Compatible con la IBM 360.

Tipo	IBM 360/40	CDC 3200	SIEMENS S 4004/35
En activo desde	Mayo 1965	Mayo 1964	Mediados 1967
Alquiler medio mensual en millones de pesetas	1,6	0,88	0,72
Tiempo de adición en microsegundos	11,88	2,5	46,5
Memoria de trabajo (capacidad máxima)	262.000 bits aprox.	32.000 palabras	65.536 bits
Representación en cifras	bits de 8 canales (alfa)	binaria	bits de 8 canales (alfa)
Longitud de palabra	1 signo	24 bits	1 signo
Tarjetas perforadas, entrada (tarjeta/minuto)	1.000	1.200	666
Salida	500	250	300
Cintas perforadas, entrada (signo/segundo)	1.000	1.000	400

Tipo	IBM 360/40	CDC 3200	SIEMENS S 4004/35
En activo desde	Mayo 1965	Mayo 1964	Mediados 1967
Salida	—	110	100
Impresora rápida (líneas/minuto)	1.100	1.000	750
Aparatos de cinta	sí	sí	sí
Memoria de discos, capacidad máxima por lote	7,25 millones de bits	33 millones de signos	7,25 millones de bits
Tiempo de acceso (segundos)	0,18	0,187	0,1
Otras memorias secundarias	Tambor, tarjetas magnéticas	Tambor	Tambor, tarjetas magnéticas
Notas	Calculadora media de la familia IBM 360. Sucesora de las calculadoras IBM 1401 e IBM 1410	Longitud de palabra variable y fija	Calculadora de la serie RCA SPECTRA 70 vendida en Alemania por SIEMENS. Mayor calculadora de la serie S 4004. Compatible con la IBM 360

Tipo	UNIVAC 9300	ZUSE Z 31	IBM 1401
En activo desde	Mediados 1967	Diciembre 1962	Setiembre 1960
Alquiler medio mensual en millones de pesetas	0,64	0,6	0,52
Tiempo de adición en microsegundos	—	442	230
Memoria de trabajo (capacidad máxima)	32.000 bits aprox.	16.000 palabras aprox.	16.000 signos
Representación en cifras	bits de 8 canales (alfa)	binaria	7 canales (alfa)
Longitud de palabra	1 signo	44 bits	1 signo
Tarjetas perforadas, entrada (tarjeta/minuto)	1.000	200	800
Salida	200	150	250
Cintas perforadas, entrada (signo/segundo)	—	1.000	500

Tipo	UNIVAC 9300	ZUSE Z 31	IBM 1401
En activo desde	Mediados 1967	Diciembre 1962	Setiembre 1960
Salida	—	150	150
Impresora rápida (líneas/minuto)	250	750	600
Aparatos de cinta	sí	sí	máximo de 6
Memoria de discos, capacidad máxima por lote	—	50 millones de bits	15 millones de signos
Tiempo de acceso (segundos)	—	0,19	0,25
Otras memorias secundarias	—	Tambor	—
Notas	Compatible con la IBM 360. Miembro de la familia UNIVAC 9000	Calculadora desarrollada en Alemania. Sucesora de la primera construida. En la actualidad, la Empresa ZUSE está en manos de la SIEMENS	Calculadora más vendida del mundo. En Alemania Federal se instalaron 860 hasta julio de 1966. Actualmente sustituida por el sistema IBM 360

Tipo	HONEYWELL H 200	IBM 360/20	EL-X4
En activo desde	Julio 1964	Enero 1966	1966
Alquiler medio mensual en millones de pesetas	0,44	0,4	0,4
Tiempo de adición en microsegundos	44	206	38,75
Memoria de trabajo (capacidad máxima)	65.000 signos	16.364 bits	32.000 palabras
Representación en cifras	7 canales (alfa)	bits de 8 canales (alfa)	binaria
Longitud de palabra	1 signo	1 signo	27 bits
Tarjetas perforadas, entrada (tarjeta/minuto)	800	1.000	600
Salida	250	300	300
Cintas perforadas, entrada (signo/segundo)	500	—	1.000

Tipo	HONEYWELL H 200	IBM 360/20	EL-X4
En activo desde	Julio 1964	Enero 1966	1966
Salida	110	—	150
Impresora rápida (líneas/minuto)	1.260	750	1.200
Aparatos de cinta	sí	sí	sí
Memoria de discos, capacidad máxima por lote	—	7,25 millones de bits	7 millones de palabras
Tiempo de acceso (segundos)	—	0,18	0,195
Otras memorias secundarias	Tambor, tarjetas magnéticas	—	Tambor
Notas	Longitud de palabra variable. Estructura similar a la IBM 1401	Calculadora más pequeña de la familia IBM 360 para tareas comerciales. Desarrollada y construida por la IBM en Alemania	Calculadora perteneciente a una familia de cinco tipos diferentes, compatibles entre sí y desarrollados en Holanda

Tipo	ICL 1905	TR 4	IBM 1130
En activo desde	Mayo 1965	Mediados de 1962	Setiembre 1965
Alquiler medio mensual en millones de pesetas	0,32	0,2	0,16
Tiempo de adición en microsegundos	7	18	8
Memoria de trabajo (capacidad máxima)	32.768 palabras	32.768 palabras	8.192 palabras
Representación en cifras	binaria	binaria	binaria
Longitud de palabra	24 bits	52 bits	16 bits
Tarjetas perforadas, entrada (tarjeta/minuto)	900	800	400
Salida	350	250	100
Cintas perforadas, entrada (signo/segundo)	1.000	1.000	60

Tipo	ICL 1905	TR 4	IBM 1130
En activo desde	Mayo 1965	Mediados de 1962	Setiembre 1965
Salida	110	250	15
Impresora rápida (líneas/minuto)	1.350	1.067	80
Aparatos de cinta	sí	sí	no
Memoria de discos, capacidad máxima por lote	32 millones de palabras	1,1 millones de palabras	512.000 palabras
Tiempo de acceso (segundos)	0,22	0,24	0,150
Otras memorias secundarias	Tambor, tarjetas magnéticas	Tambor	—
Notas	Calculadora media de una familia de ocho calculadoras para utilización universal (ICL 1900)	Calculadora desarrollada en Alemania	Calculadora de tipo pequeño para la solución de tareas técnicas y científicas

INDICE

LIBRO AMIGO

CIENCIA Y TECNICA

títulos que usted encontrará
en esta colección

¿Hasta dónde pueden llegar las posibilidades de los cerebros electrónicos? El hombre ha creado estas calculadoras prodigiosas y ya empieza a asombrarse de las posibilidades infinitas de su invento. La iniciativa humana y la capacidad de la máquina constituyen una de las combinaciones más fascinantes de nuestra época.

El presente libro descubre al lector la estructura y el funcionamiento casi humanos de estos sorprendentes colaboradores del hombre. Se ha conseguido que unos ingenios sin vida memoricen la información que se les facilita y lleven a cabo los cálculos más complejos, al tiempo que son capaces de programar música o de «pensar» poéticamente. La informática está abriendo una era esperanzadora para el progreso. El hombre ha creado la máquina y, hoy por hoy, la domina con su facultad creativa y su inteligencia. ¿Llegará un día en que también la máquina asuma tales funciones? Las presentes páginas nos ponen en condiciones de adelantarnos a esta incógnita futura.

389

100 ptas.

EDITORIAL BRUGUERA, S. A.

Barcelona - Bogotá - Buenos Aires - Caracas - México

Impreso en España - Printed in Spain